

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Studij naftnog rudarstva

**TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINA U
EKSPLOATACIJSKOM POLJU SJEVERNI JADRAN**

Diplomski rad

Mihael Nemčić

N-147

Zagreb, 2016.

TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINA U EKSPLOATACIJSKOM POLJU SJEVERNI JADRAN

MIHAEL NEMČIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo, Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Povećanjem cijena prirodnog plina na međunarodnom tržištu, plinska polja sjevernog Jadrana koja su otkrivena 70-ih godina prošlog stoljeća, postala su rentabilna za proizvodnju. Tako je hrvatsko talijanskim osnivanjem zajedničke tvrtke INAgip počelo intenzivnije istraživanje i privođenje proizvodnji eksploatacijskih polja Sjeverni Jadran i Marica. Eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran nalazi se uz samu granicu Italije i Hrvatske 50-ak kilometara udaljeno od Pule. Razrađeno eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran sastoji se od nekoliko plinskih polja na kojima se nalazi 17 proizvodnih i jedna kompresorska platforma, s ukupno 47 proizvodnih bušotina. Većina bušotina je opremljena dvostrukom proizvodnom opremom te pješčanim zasipom ili proreznim lajnerom što ovisi o karakteristikama ležišta.

Ključne riječi: eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran, konstrukcija bušotine, dvozonsko opremanje, pješčani zasip

Diplomski rad sadrži: 53 stranice, 10 tablica, 19 slika

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNF-a

Dr.sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a

Dr.sc.Vladislav Brkić, docent RGNF-a

Datum obrane:

TYPICAL WELL CONSTRUCTION IN EXPLOITATION FIELD NORTH ADRIATIC

MIHAEL NEMČIĆ

Thesis completed in: University in Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

Increasing prices of the natural gas on global market made gas fields in the northern Adriatic, discovered in the seventies, cost-effective for production. With the formation of the croatian-italian company INAgip came more intensive exploration and production planning in the exploitation field North Adriatic and Marica. Exploitation field North Adriatic is located on the croatian-italian boarder 50 km of Pula. North Adriatic field consists of several gas fields with 17 production and 1 service platform and a total of 47 wells. Most of the wells are equipped with dual completion and gravel pack or with slotted liner which depends on reservoir characteristics.

Keyword: exploitation field North Adriatic, production platform, well construction, well completion, gravel pack

Thesis contains: 53 pages, 10 tables, 19 figures

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD. Zdenko Krištafor, Full professor, Faculty of Mining, Geology and
Petroleum Engineering

Reviewers: PhD. Zdenko Krištafor, Full professor, Faculty of Mining, Geology and
Petroleum Engineering

PhD. Borivoje Pašić, Assistant Professor, Faculty of Mining, Geology and
Petroleum Engineering

PhD. Vladislav Brkić, Assistant Professor, Faculty of Mining, Geology and
Petroleum Engineering

Date of defense:

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
POPIS TABLICA	II
1. UVOD	1
2. PLANIRANJE ODOBALNOG PROJEKTA	3
3. PLATFORME I BUŠOTINE EKSPLOATACIJSKOG POLJA SJEVERNI JADRAN.....	5
4. PLINSKO POLJE IVANA, ANA I VESNA	7
4.1. IVANA A.....	9
4.2. IVANA B	10
4.3. IVANA C	12
4.4. IVANA D.....	13
4.5. IVANA E	15
4.6. VESNA	15
4.7. ANA.....	15
4.8. TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINE ZA PODRUČJE POLJA IVANA, ANA I VESNA	16
4.8.1. Konstrukcija vertikalne bušotine	16
4.8.2. Konstrukcija horizontalne bušotine	18
4.8.3. Konstrukcija koso usmjerene bušotine	23
5. PLINSKO POLJE IZABELA	27
5.1. IZABELA JUG	28
5.2. IZABELA SJEVER	28
5.3. TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINE POLJA IZABELA.....	29
5.3.1. Konstrukcija koso usmjerene bušotine	29
5.3.2. Konstrukcija vertikalne bušotine	31
6. PLINSKA POLJA IKA, IDA, ANNAMARIA I IRINA	33
6.1. IKA A	34
6.2. IKA B.....	34
6.3. IKA JZ	35
6.4. IDA A	36

6.5.	IDA B.....	36
6.6.	IDA C.....	36
6.7.	IRINA	37
6.8.	ANNAMARIA A.....	37
6.9.	TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINA POLJA IKA, IDA, IRINA I ANNAMARIA	39
6.9.1.	Vertikalna bušotina.....	39
6.9.2.	Horizontalna bušotina.....	40
6.9.3.	Koso usmjerena bušotina.....	43
7.	OPREMANJE BUŠOTINA	45
7.1.	PROJEKTIRANJE OPREMANJA.....	50
7.2.	TIPIČNO OPREMANJE BUŠOTINA NA PLINSKIM POLJIMA SJEVERNOG JADRANA	51
8.	ZAKLJUČAK	55
9.	LITERATURA	56

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Situacijska karta proizvodnih platformi i plinskih polja Sjevernog Jadrana	2
Slika 4-1. Karta kontura ležišta plinskog polja Ivana predviđenih za proizvodnju	8
Slika 4-2. Trodimenzionalni skupni pregled trajektorija svih bušotina platforme IVANA B.	11
Slika 4-3. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ivana C-1 dir	12
Slika 4-4. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ivana D1 dir	14
Slika 4-5. Konstrukcija bušotine Vesna - 2 ver	16
Slika 4-6. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ivana E-3 hor.....	18
Slika 4-7. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ana 3 dir	23
Slika 5-1. Projektirana putanja bušotine Izabela-4 dir	29
Slika 5-2. Projektirana putanja bušotine Izabela-2 VER	31
Slika 6-1. Grafički prikaz ostvarenih trajektorija bušotina	34
Slika 6-2. Trodimenzionalni skupni pregled trajektorija svih bušotina polja Ika JZ.....	35
Slika 6-3. Grafički prikaz planiranih i ostvarenih trajektorija bušotina.....	38
Slika 6-4. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ika A-3 hor	40
Slika 6-5. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ida B-2 dir	43
Slika 7-1. Primjeri opremanja bušotina kroz jednu zonu.....	45
Slika 7-2. Jednozonsko i višezonsko završno proizvodno opremanje	49
Slika 7-3. Proizvodna oprema bušotine Ika A-4 hor.....	52
Slika 7-4. Proizvodna oprema bušotine Ida A-1 ver	54

POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Popis proizvodnih platformi i bušotina na eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran.....	5
Tablica 4-1. Konstrukcija bušotine Vesna – 2 ver.....	17
Tablica 4-2. Konstrukcija bušotine Ivana E-3 hor.....	20
Tablica 4-3. Sastav alata pri bušenju zakrivljenog dijela bušotine.....	21
Tablica 4-4. Sastav alata za bušenje horizontalnog dijela bušotine Ivana E-3 hor.....	22
Tablica 4-5. Konstrukcija bušotine Ana 3 dir.....	24
Tablica 4-6. Sastav alata kod bušenja zakrivljenih dionica za ugradnju tehničke kolone bušotine Ana 3 dir	25
Tablica 4-7. Sastav alata primijenjen kod bušenja kanala bušotine za ugradnju proizvodne kolone bušotine Ana 3 dir.....	26
Tablica 6-1. Konstrukcija bušotine Ika A-3 hor	42
Tablica 6-2. Konstrukcija bušotine Ida B-2 dir	44

1. UVOD

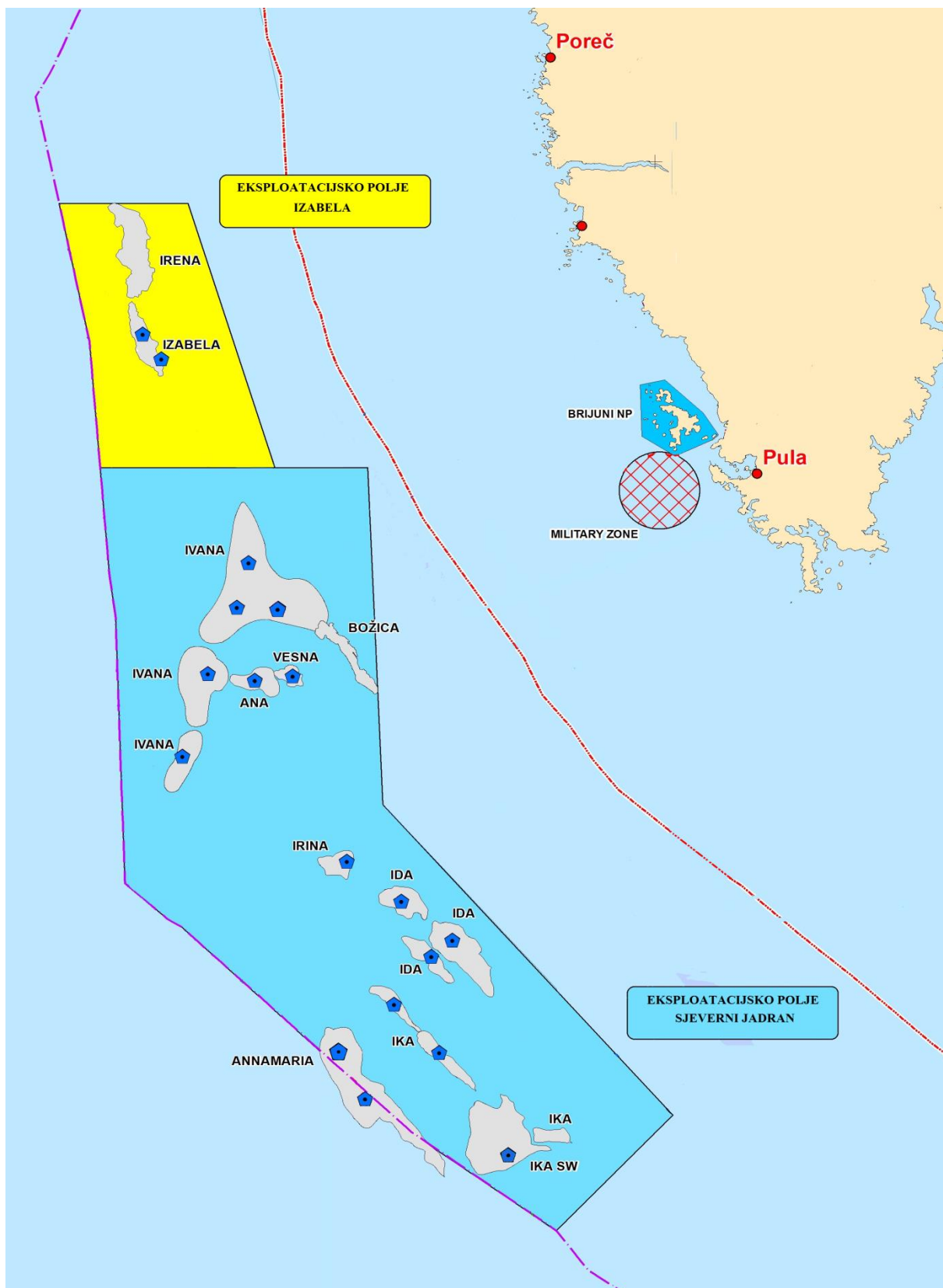
Globalna proizvodnja nafte i plina iz odobalnih bušotina je u stalnom porastu. Kako se odobalni projekti sve više izrađuju u dubljim vodama, zbog ekonomskih razloga zahtjeva se efikasan dizajn, testiranje te ugradnja opreme. To ukazuje na potrebu bliske suradnje između operatora, servisnih kompanija i proizvođača opreme.

Godišnja potrošnja energije u svijetu je u stalnom rastu, uglavnom zbog povećane potražnje zemalja u razvoju. Te zemlje će koristiti sve više i više energije kako im raste broj stanovnika i kako se životni standard povećava. Tako će se i sektor proizvodnje energije sve više koncentrirati na pridobivanje nafte i plina iz odobalnih područja. Posljednjih nekoliko godina proizvodnja plina iz hrvatskog odobalnog područja premašila je proizvodnju plina iz svih kopnenih plinskih i plinsko-kondenzatnih ležišta. Od bušenja do napuštanja i sanacije odobalnih bušotina, tj. postrojenja, struka se suočava s mnogobrojnim tehnološkim izazovima. Zbog potrebe za visokom produktivnošću te slabom pristupačnosti bušotina zahtjeva se kvalitetno opremanje, osiguravanje kvalitetnog protoka, te pouzdanost i trajnost ugrađene opreme. Ekonomska održivost zahtijeva maksimiranje proizvodnje i krajnji oporavak na siguran i ekološki prihvatljiv način.

U eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran i eksploatacijskom polju Izabela izgrađeno je 17 proizvodnih platformi sa 47 proizvodnih bušotina. (slika 1-1. i tablica 3-1.) Većina njih opremljena je dvostrukim proizvodnim nizom i pješčanim zasipima (Glavni rudarski projekt plinskog polja Ivana, 1997. i Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008.).

Trajektorija bušotina konstruirana je tako da u najpovoljnijem dijelu razotkrije ležišta prirodnog plina. Tako se razlikuju vertikalne, horizontalne i koso usmjerene bušotine koje se obzirom na konstrukciju trajektorije još dijele i na modificirane „S“ bušotine, bušotine s konstantnim povećanjem kuta otklona od vertikale i bušotine koje poslije otklonjenog dijela nastavljaju svoju putanju pravocrtno.

Cilj ovog rada je opisati tipičnu konstrukciju bušotine eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran kao podlogu za buduća bušenja i razradu ležišta u plitkom Jadranu ili sličnim formacijama.



Slika 1-1. Situacijska karta proizvodnih platformi i plinskih polja Sjevernog Jadrana (INA d.d.)

2. PLANIRANJE ODOBALNOG PROJEKTA

Bušotina je rudarski objekt koji predstavlja otvor okruglog presjeka izrađen u litosferi koji se izgrađuje nekom od mehaničkih metoda, najčešće bušenjem. Za nju je svojstveno da je odnos njene duljine i promjera veoma velik. Cilj izrade bušotine najčešće je pridobivanje fluida iz podzemlja i istraživanje i otkrivanje ležišta fluida ili rudnih ležišta. Bušotine se, kao što to i proizlazi iz njihovih različitih namjena, razlikuju po svojim dimenzijama, ali prvenstveno po projektom zadanom profilu. Profil bušotine, koji se obično prikazuje u svojoj vertikalnoj projekciji, može se sastojati od pravocrtnih i zakrivljenih dionica. Zadatak izvođača radova je da izradi bušotinu čija se putanja podudara s projektom zadanom trajektorijom. Pri izradi projekta bušotine prvenstveno se određuju geometrijski parametri putanje bušotine. Uzima se da su osi pojedinih dionica bušotine ili dijelovi pravca (kod pravocrtnih dionica) ili lukovi kružnice (kod zakrivljenih dionica). Bušotine se, obzirom na trajektoriju, dijele na horizontalne bušotine, kose bušotine i vertikalne bušotine. Pri izradi bušotine njena putanja će odstupati od idealne trajektorije zadane projektom zbog geoloških, tehničkih i tehnoloških parametara (Predavanja iz kolegija: Tehnika izrade bušotina). Bušenje zakrivljenih i horizontalnih dijelova bušotina prikazano je u podpoglavljima 4.8.2. i 4.8.3.

Na odobalnom projektu, tj. platformi s jednog mjesta može biti izbušeno više bušotina – tzv. grm bušotina. U takvim slučajevima za izgradnju kanala bušotina može se primjeniti koncepcija izrade po fazama u ciklusu (*engl. batch drilling mode*) koja podrazumijeva sukcesivno izvođenje više bušotina dionicu po dionicu. Takav način izrade bušotina značajno smanjuje troškove jer se u svakoj fazi izrade bušotine koristi identična oprema i alati u svakoj od njih i na taj način skraćuje se vrijeme izgradnje bušotina. Taj koncept prvi put u Hrvatskoj je primjenjen kod izrade bušotina na platformama u sjevernom Jadranu.

Još jedan nekonvencionalni način izrade bušotina je izvođenje tzv. simultanih operacija (*engl. simultaneous operations – SIMOPS*). To je način izrade, ispitivanja i opremanja bušotina korištenjem bušaće platforme uz istovremenu proizvodnju ugljikovodika na proizvodnoj platformi na kojoj se izvode rudarski radovi. SIMOPS načinom izgrađena je bušotina Ika A-4 hor na proizvodnoj platformi IKA A. (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip d.o.o.)

Eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran može se podijeliti na dva područja: teritorij plinskog polja Ivana sa susjednim poljima Ana i Vesna na kojoj se nalazi sedam

proizvodnih platformi te jugoistočno od plinskog polja Ivana nalazi se područje s relativno bliskim poljima Ida, Ika i lokalitetima Irina i Anamarija na kojem se nalazi još osam proizvodnih platformi. U ovom radu još će se opisati i bušotine s relativno bliskog eksploatacijskog polja Izabela s dvije platforme koje se nalaze sjeverno od plinskog polja Ivana.

3. PLATFORME I BUŠOTINE EKSPLOATACIJSKOG POLJA SJEVERNI JADRAN

U tablici 3-1. nalazi se popis platformi s eksploatacijskih polja Sjeverni Jadran i Izabela, te proizvodnih bušotina svake platforme.

Tablica 3-1. Popis proizvodnih platformi i bušotina na eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran

PLATFORMA	BUŠOTINA	PLATFORMA	BUŠOTINA
IVANA A	Ivana A-1 hor	IKA A	Ika A-1 dir
	Ivana A-2 dir		Ika A-2 hor
	Ivana A-3 dir		Ika A-3 hor
	Ivana A-4 dir		Ika A-4 hor
	Ivana A-5 dir	IKA B	Ika B-1 dir
IVANA B	Ivana B-1 dir		Ika B-2 dir
	Ivana B-2 dir		Ika B-3 dir
	Ivana B-3 dir	IKA JZ	Ika jz-1 dir
IVANA C	Ivana C-1 dir		Ika jz-2 dir
IVANA D	Ivana D-1 dir		Ika jz-3 dir
IVANA E	Ivana E-1 dir		Ika jz-4 dir
	Ivana E-2 hor		Ika jz-5 dir
	Ivana E-3 hor	IDA A	Ida A-1 ver
ANA	Ana-2 dir	IDA B	Ida B-1 dir
	Ana-3 dir		Ida B-2 dir
VESNA	Vesna-2 ver	IDA C	Ida C-1 dir
IZABELA SJEVER	Izabela-2 ver		Ida C-2 dir
	Izabela-7 dir		Ida C-3 dir
	Izabela-8 dir	IRINA	Irina-1 dir
IZABELA JUG	Izabela-3 dir	ANNAMARIA A	Am-A1 dir
	Izabela-4 dir		Am-A2 dir
	Izabela-5 dir		Am-A3 dir
			Am-A4 dir
			Am-A5 dir
			Am-A12 dir

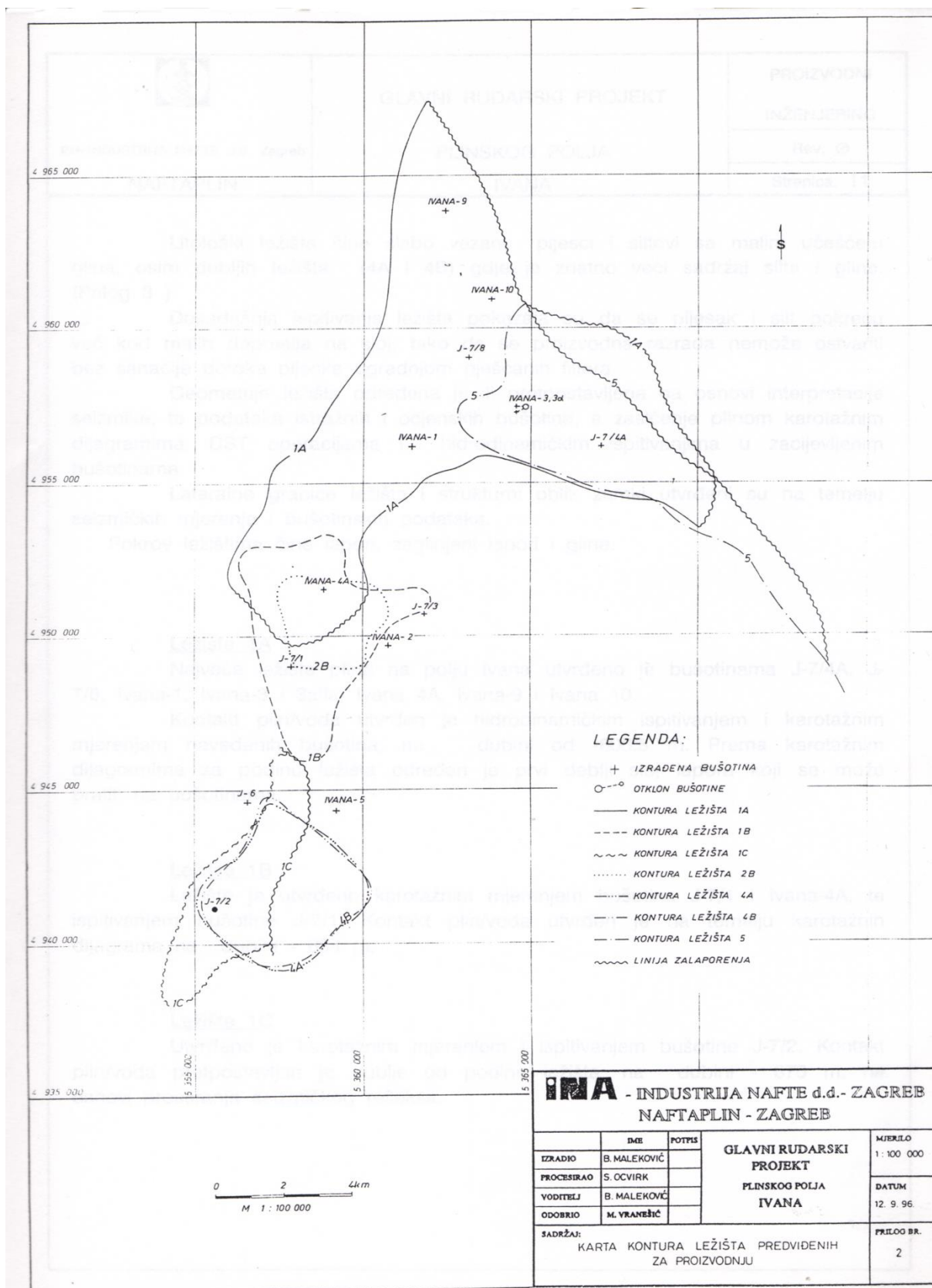
S ovih 17 platformi izrađene su bušotine za proizvodnju plina u eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran i Izabela. Većina bušotina izvedene su kao koso usmjerene bušotine (38 bušotina, tj. 80,85%) te manjim udjelom horizontalne (12,77%) i vertikalne bušotine (6,38%). Izvedba opremanja često je višezonska s dvostrukim nizom tubinga. Postavljanje pješčanog zasipa u zacijevljenom dijelu ležišta obavljeno je metodom uz frakturiranje

(*engl. frack & pack*) ili metodom velikih volumena protiskivanja zasipa (*engl. high rate water pack - HRWP*), a otvorenog kanala ležišta perforiranim tubingom metodom pješčanog zasipa otvorenog dijela bušotine (*engl. open hole gravel pack - OHGP*). U nastavku će se opisati karakteristični primjeri nekih od ovih bušotina.

4. PLINSKO POLJE IVANA, ANA I VESNA

Na plinskom polju Ivana nalazi se šest platformi, pet proizvodnih i jedna kompresorska, te u blizini još dvije proizvodne platforme, ANA i VESNA. Analizom konstrukcija bušotina s tih sedam platformi moći će se prikazati tipična konstrukcija bušotine za to područje. S tih sedam platformi izbušeno je 16 proizvodnih bušotina.

Plinsko polje Ivana otkriveno je 1973. godine istražnom bušotinom Jadran-6. To je ujedno prvo i najveće otkriveno plinsko polje na našem dijelu Jadrana. Nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Jadranskog podmorja, nedaleko od linije razgraničenja s Italijom, udaljeno 42 km jugozapadno od Pule. Jugoistočno od plinskog polja Ivana, na udaljenosti od 30-50 km, nalaze se plinska polja Ika, Ida i Irina, a na graničnoj liniji s Italijom, plinska polja Annamaria i Andreina. Dubina mora na polju Ivana kreće se od 39 do 46 m. Istražnim i ocjenskim bušotinama na polju Ivana otkriveno je 13 ležišta zasićenih plinom na dubini od 600 – 1300 metara: O, 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 3, 4A, 4B, 5, 6A₁, 6A₂, i 6B. Ležišta koja su predviđena za proizvodnu razradu su: 1A, 1B, 1C, 2B, 4A, 4B i 5 s utvrđenim rezervama od 9,7 milijardi m³ plina. (slika 4-1.)



Slika 4-1. Karta kontura ležišta plinskog polja Ivana predviđenih za proizvodnju (Glavni rudarski projekt plinskog polja Ivana, 1997)

Osnovne karakteristike ovih plinskih ležišta su mala debljina proizvodnog dijela i velika površina akumulacije plina, te prisustvo podinskog i djelomično rubnog vodenog bazena. Kolektor je sastavljen od nekonsolidiranih pijesaka s polupropusnim i nepropusnim slojevima finog silta i gline. Prilikom ispitivanja bušotina pijesak se pokreće i kod najmanjih depresija na sloj, tako da se proizvodna razrada nije mogla ostvariti bez sanacije dotoka pijeska ugradnjom pješčanih filtara i zasipa. Cijelo ležište proslojeno je nepropusnim i polupropusnim barijerama nepravilnog rasporeda. Zbog sastava ležišne stijene i postojanja vodenog bazena, pored volumetrijskog režima crpljenja pojavljuje se i utjecaj podinske i djelomično rubne vode. Specifičnost razrade ležišta plina u podmorju Jadrana predstavlja tzv. „grm“ bušotina i dvozonsko opremanje (*engl. dual completion*).

Na plinskom polju Ivana smješteno je pet proizvodnih platformi. Tipovi platformi su sljedeći:

- CENTRALNA PLATFORMA: IVANA A – tetrapod (4 noge / 5 bušotina)
- SATELITSKE PLATFORME: IVANA B – tripod (3 noge / 3 bušotine),
IVANA C – monopod – jednostopna konstrukcija (1 bušotina),
IVANA D – monopod – jednostopna konstrukcija (1 bušotina),
IVANA E – tripod (3 noge / 3 bušotine).

U blizini plinskog polja Ivana nalaze se i još dvije platforme jednostopne konstrukcije (monopod), ANA i VESNA.

4.1. IVANA A

IVANA A je centralna sabirna proizvodna platforma sa stalnom posadom, opremom bušotina, sustavom separacije plina i slojne vode, sustavima za obradu slojne vode, prihvati i otpremu plina, proizvodnju električne energije, sustavom za vođenje procesa i zaštite, radno-stambenim prostorom, platformom za slijetanje i uzlijetanje helikoptera te sustavom za gašenje požara.

IVANA A je platforma rešetkaste konstrukcije sa četiri noge (*engl. jacket*). S nje je izbušeno 5 bušotina: Ivana A1 hor, Ivana A2 dir, Ivana 3 dir, Ivana 4 dir i Ivana A5 za proizvodnju iz plinskih ležišta 1A i 5.

Prema glavnom rudarskom projektu polja Ivana tipska bušotina je izgrađena kao koso usmjerena. Obzirom da ležišta A1 i 5 zaliježu plitko (600 m – 800 m), bušotine su

izgrađene s velikim horizontalnim pomakom u nivou ležišta (1220 m). Stoga su bušotine od samog početka izvedene uz pomoć prethodno savijenih cijevi (*engl. pre-bent conductor pipe*) radijusa zakrivljenosti $4^{\circ}/30$ m, ugrađenih za vrijeme postavljanja osnovnih nosača platforme.

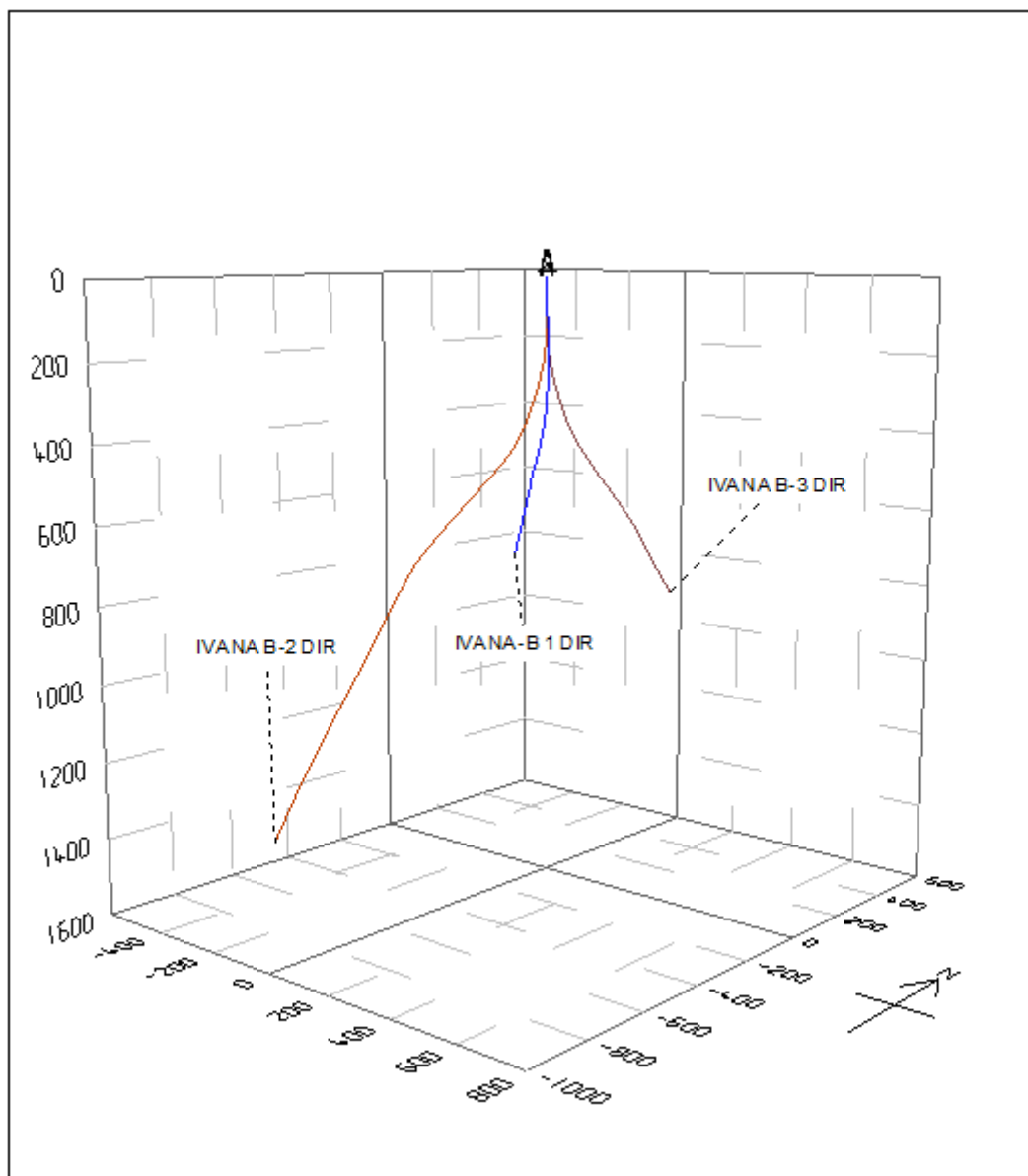
Konduktor kolona zaštitnih cijevi promjera 660,4 mm (26“) ugrađena je do dubine od oko 140 m, računajući od vrtaćeg stola, pri čemu je penetracija u morsko dno u rasponu od 65 m do 70 m. Uvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 $\frac{3}{8}$ “) ugrađena je do oko 300 m vertikalne dubine, odnosno 316 m kose duljine bušotine, računajući od vrtaćeg stola. Postignuti kut na 316 m iznosi $32,3^{\circ}$. Tehnička kolona zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 $\frac{5}{8}$ “) ugrađena je do otprilike 600 m vertikalne dubine, odnosno 849 m kose duljine bušotine, računajući od vrtaćeg stola. Ugradnjom kolone do ove dubine omogućilo se prekrivanje nekonoslidiranih formacija do ležišta A1. Kvaliteta čelika uvodne i tehničke kolone je J-55, a proizvodne N-80. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) ugrađena je do 930 m vertikalne dubine, odnosno 1630 m mjerene duljine bušotine, računajući od vrtaćeg stola. Bušenje je obavljeno uz održavanje kuta od 65° do konačne dubine bušotine, i ostvarivanjem horizontalnog otklona od vertikalne projekcije bušotine na dnu od 1220 m. Ugradnjom proizvodne kolone omogućilo se prekrivanje ležišta A1 i 5, te njihovo opremanje za proizvodnju.

4.2. IVANA B

IVANA B je satelitska platforma smještena jugozapadno od centralne platforme IVANA A i dio je proizvodnog sustava polja Ivana. Platforma je rešetkaste konstrukcije s tri noge (tripod) s tri izbušene bušotine i jednim rezervnim otvorom. Konduktor cijevi promjera 508 mm (20“) su vertikalno nabijene do oko 50 m u morsko dno nakon procesa učvršćenja postolja platforme. S platforme IVANA B izbušene su tri koso usmjerene bušotine Ivana B1 dir s otklonom od $47,5^{\circ}$ - $51,5^{\circ}$ u proizvodnim slojevima, Ivana B2 dir s otklonom od 42° - 46° u proizvodnim slojevima i Ivana B3 dir s otklonom od 37° - 38° u proizvodnim slojevima. Navedene bušotine proizvode plin iz proizvodnih slojeva 1B, 2A, 2B i 3. (slika 4-2.)

Konstrukcija bušotine je izvedena tako da je uvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 $\frac{3}{8}$ “) ugrađena do oko 300 m vertikalne dubine, tehnička kolona

zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 ⁵/₈“) do otprilike 600 m vertikalne dubine. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) za bušotinu B1 dir ugrađena je do 1085 m mjerene duljine kanala bušotine, za bušotinu B2 dir do 950 m i za bušotinu B3 dir do 920 m, te su opremljene pješčanim zasipom unutar zaštitnih cijevi (*engl. inside casing gravel pack, ICGP*).

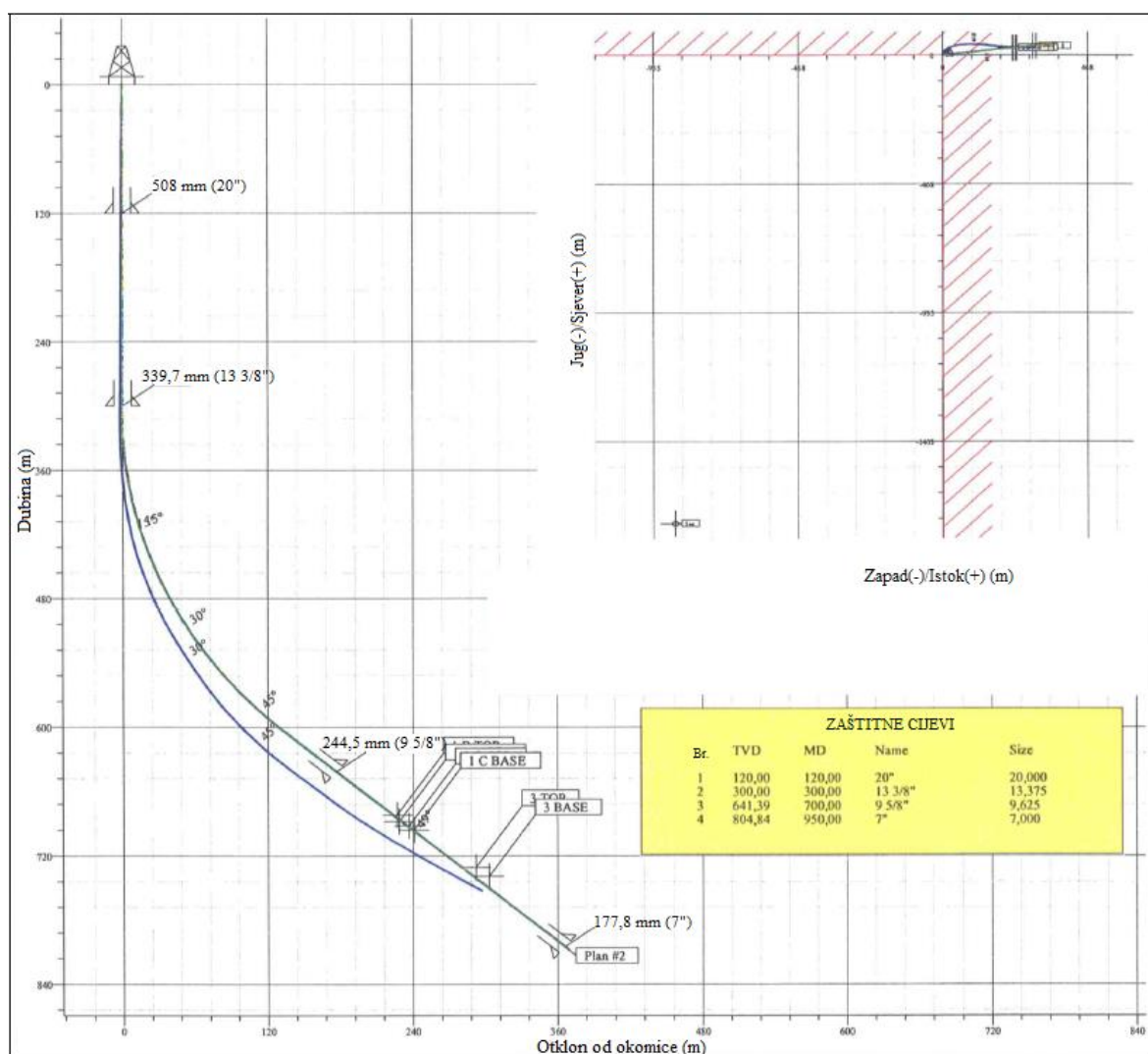


Slika 4-2. Trodimenzionalni skupni pregled trajektorija svih bušotina platforme IVANA B (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip)

4.3. IVANA C

Platforma IVANA C je jednostopna konstrukcija (monopod) s jednom izbušenom usmjerenom bušotinom Ivana C-1 dir i jednim dodatnim otvorom s mogućnošću bušenja dodatne bušotine. Konduktor kolona ugrađena je u morsko dno tijekom postavljanja platforme. Cilj dohvata ove bušotine su slojevi plina u pleistocenskim turbiditima (ležišta 1B, 1C i 3).

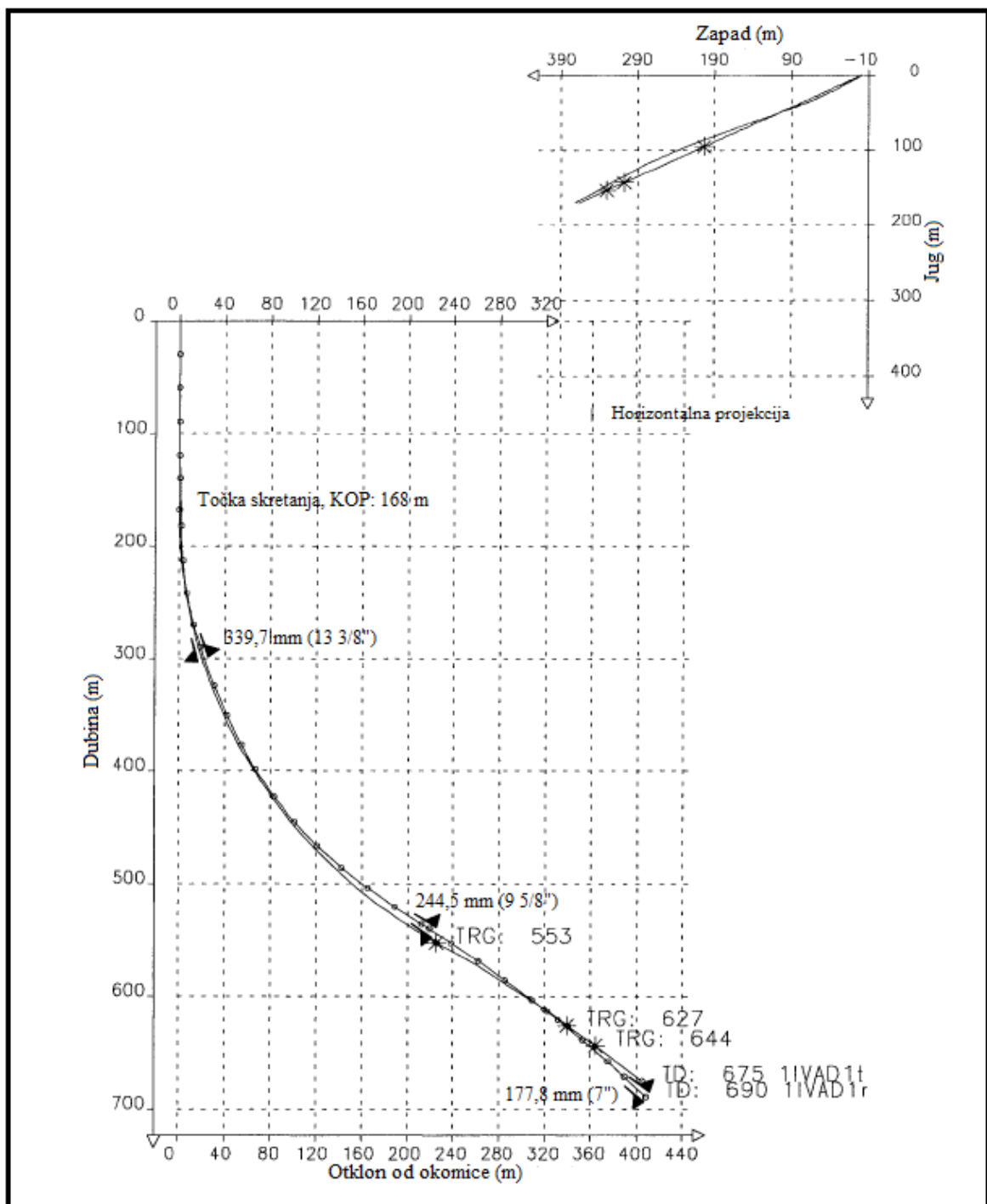
Konstrukcija bušotine sadrži uvodnu kolonu zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 3/8") ugrađenu do 300 m dubine, tehničku kolonu zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 5/8") postavljenu na vertikalnu dubinu od 642 m. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7") ugrađena je do vertikalne dubine od 805 m, tj. 950 m mjerene duljine kanala bušotine s kutom odklona od 58°. (slika 4-3.)



Slika 4-3. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ivana C-1 dir (Drilling & completion final report - IVANA E, IVANA D, IVANA B - Technical data)

4.4. IVANA D

IVANA D je satelitska platforma smještena sjeverno od centralne platforme IVANA A. To je prva platforma tipa monopod postavljena u jadranskom podmorju. S platforme IVANA D izbušena je jedna koso usmjerena bušotina Ivana D1 dir, i kraj nje je ostavljeno jedno prazno mjesto s ugrađenom konduktor kolonom promjera 508 mm (20“) do dubine od 178 m mjereno od vrtaćeg stola. Konstrukcija bušotine Ivana D1 dir sastoji se od konduktor cijevi promjera 508 mm (20“) ugrađene do 165 m vertikalne dubine mjereno od vrtaćeg stola, uvodne zaštitne kolone promjera 339,7 mm (13 ³/₈“) postavljene na 300 m vertikalne dubine, tehničke kolone zaštitnih cijevi promjera 244,5 mm (9 ⁵/₈“) ugrađene do vertikalne dubine od 550 m i proizvodne kolone zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) postavljene do 861 m mjerene duljine i opremljene pješčanim zasipom unutar zaštitnih cijevi (ICGP).



Slika 4-4. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ivana D1 dir (Drilling & completion final report - IVANA E, IVANA D, IVANA B - Technical data)

4.5. IVANA E

IVANA E je u projektu definirana kao satelitska platforma smještena zapadno od centralne platforme IVANA A. IVANA E je platforma rešetkaste konstrukcije s tri noge (tripod) kod koje su nakon postavljanja postolja ugrađene tri vertikalne konduktorske kolone promjera 508 mm (20“) nabijenih do dubine od 51,4 m. S platforme IVANA E izrađene su tri bušotine: jedna koso-usmjerena bušotina Ivana E1 dir (maksimalni kut otklona 55°/ konačni kut otklona 50°) i dvije horizontalne bušotine Ivana E2 hor i Ivana E3 hor. (Drilling & completion final report –IVANA E, IVANA D, IVANA B – technical data, 2001.)

4.6. VESNA

Platforma VESNA smještena je u sjevernom Jadranu blizu eksploatacijskog bloka Ivana, oko 20 km od granice razgraničenja između Hrvatske i Italije. Dubina mora na lokaciji je 44 m. Platforma VESNA je jednostopne konstrukcije (monopod) na kojoj su ugrađene dvije konduktor cijevi prije instaliranja nadgrađa na lokaciji. Jedna konduktorska kolona je rezervna, a druga je ulaz u proizvodnu bušotinu Vesna-2 ver. Cilj te bušotine je proizvodnja plina iz ležišta smještenih u pleistocenskim turbiditima. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Vesna-2 ver, 2008.)

4.7. ANA

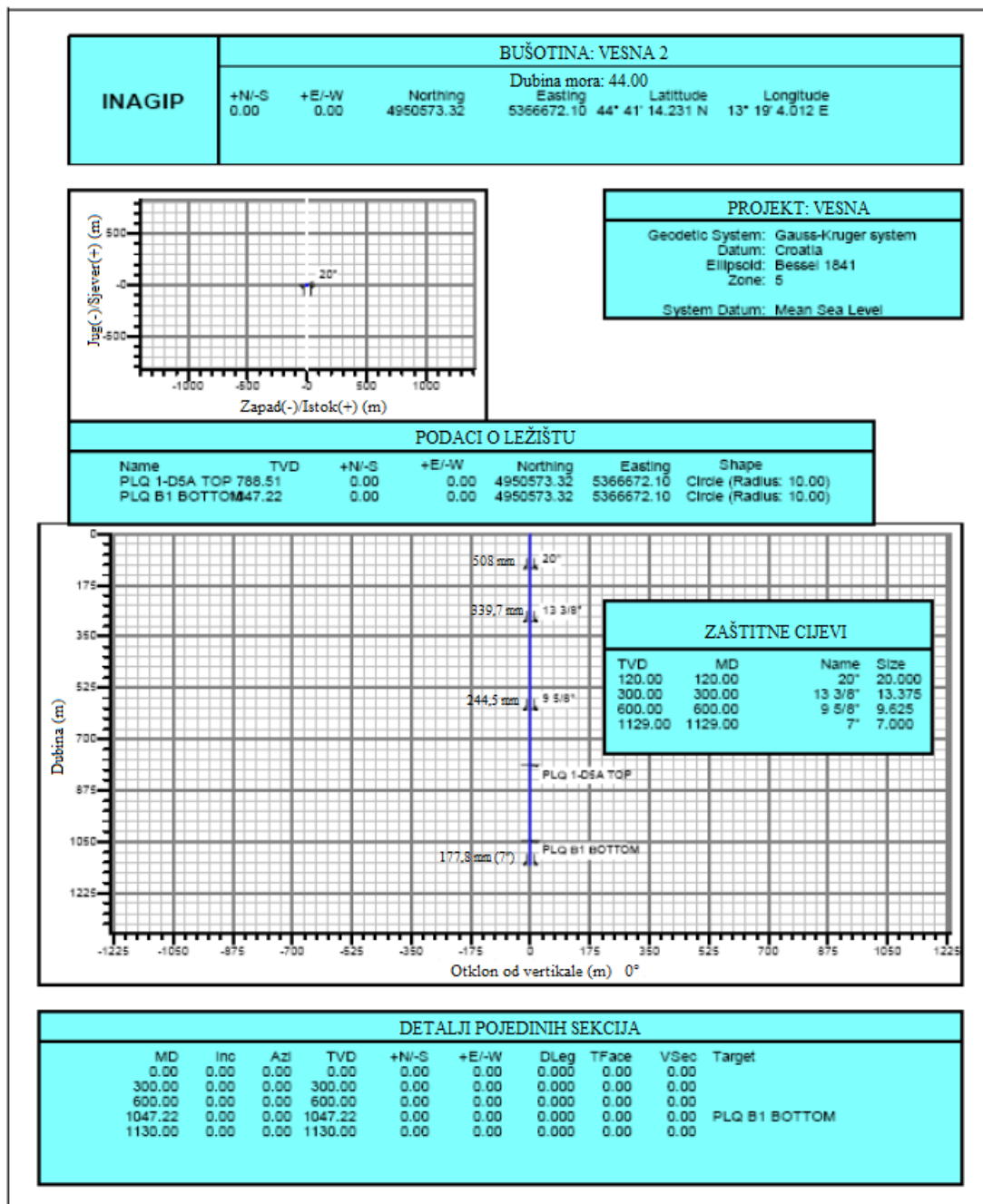
Platforma ANA smještena je u sjevernom Jadranu blizu eksploatacijskog bloka Ivana, oko 20 km od granice razgraničenja između Hrvatske i Italije. Dubina mora na lokaciji je 45 m. Platforma ANA je jednostopna konstrukcija (monopod) u koju su ugrađene dvije konduktor cijevi tijekom postavljanja platforme na lokaciju. Kroz navedene dvije konduktorske cijevi izrađene su dvije koso usmjerene proizvodne bušotine, Ana 2 dir i Ana 3 dir. Cilj tih bušotina je proizvodnja plina iz ležišta u pleistocenskim turbiditima. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi Ana-2 dir i Ana-3 dir, 2008.)

4.8. TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINE ZA PODRUČJE POLJA IVANA, ANA I VESNA

U ovom području postoje sva tri tipa konstrukcije bušotine, vertikalna, koso usmjerena i horizontalna pa će za svaku od navedenih slijediti određeni komentar.

4.8.1. Konstrukcija vertikalne bušotine

Vertikalna bušotina na ovom području je samo jedna, i to je Vesna 2 ver.



Slika 4-5. Konstrukcija bušotine Vesna - 2 ver (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Vesna - 2 ver, 2008.)

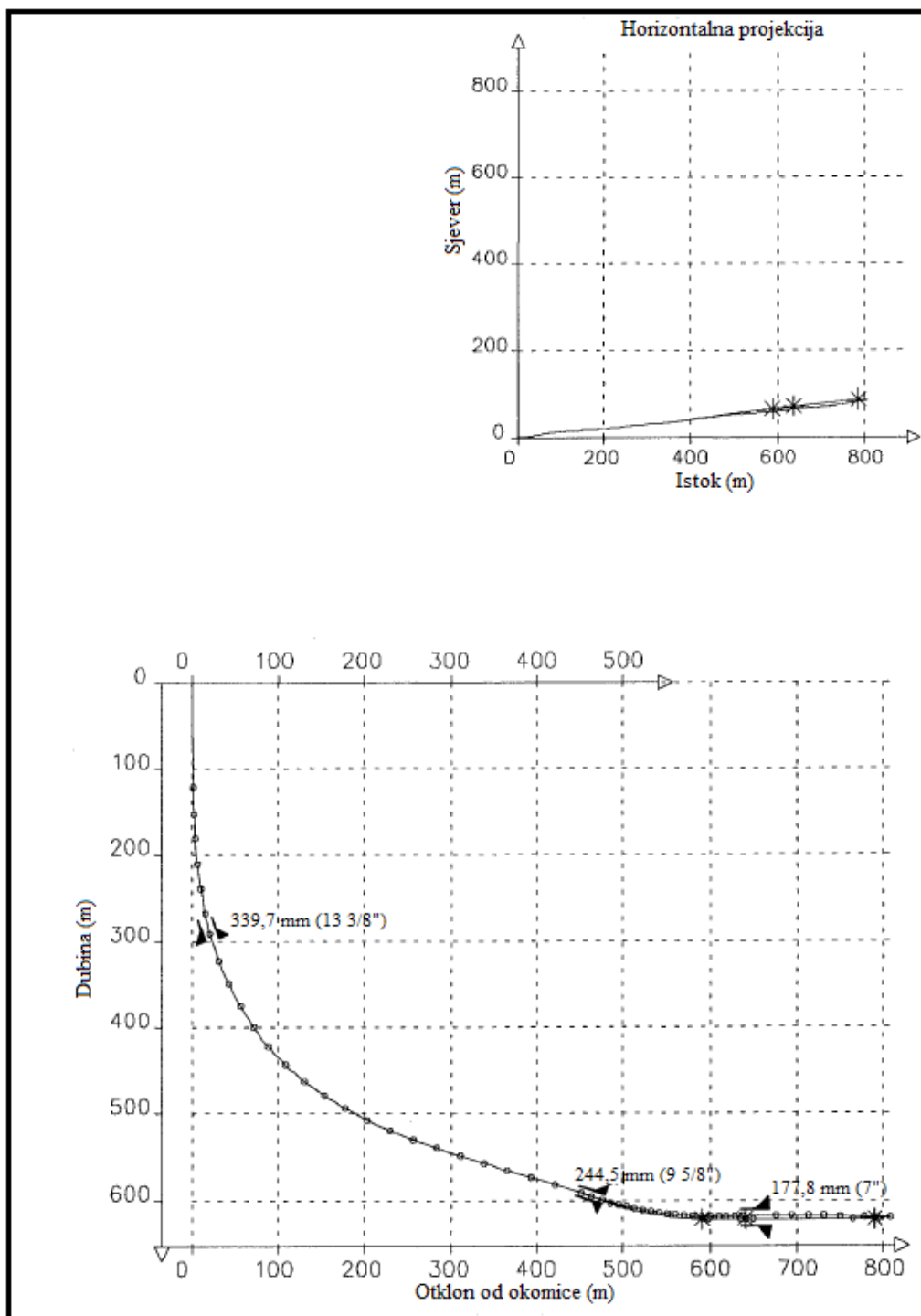
Konduktor kolona zaštitnih cijevi promjera 508 mm (20“) ugrađena je u fazi instaliranja proizvodne platforme na dubinu od 120 m, mjereno od vrtaćeg stola. Kvaliteta čelika konduktor kolone je X-52. Bušenje za uvodnu kolonu promjera 339,7 mm (13 3/8“) obavljeno je dlijetom promjera 406,4 mm (16”) do dubine od 307 m. Kolona je ugrađena do dubine od 301 m. Njome su prekrivene nekonsolidirane formacije morskog dna. Bušenje za tehničku kolonu zaštitnih cijevi obavljeno je dlijetom promjera 311 mm (12 1/4”), najprije se bušio cement od 295 m do 307 m, pa formacija sve do 611 m. Tehnička kolona zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm (9 5/8“) ugrađena je do 604 m. Kvaliteta čelika uvodne i tehničke kolone je J-55. Za proizvodnu kolonu bušilo se dlijetom promjera 215,9 mm (8 1/2“) do dubine od 1134 m. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) i kvalitete čelika N-80 ugrađena je na konačnu dubinu od 1126 m. Konstrukcija bušotine prikazana je u tablici 4-1. U svim fazama izrade vertikalne bušotine nije bilo nikakvih tehničkih problema. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Vesna-2 ver, 2008.)

Tablica 4-1. Konstrukcija bušotine Vesna – 2 ver (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Vesna-2 ver, 2008.)

	Konduktor kolona	Uvodna kolona	Tehnička kolona	Proizvodna kolona
Promjer dlijeta	čekić	406,4 mm (16“)	311 mm (12 1/4”)	215,9 mm (8 1/2”)
Vanjski promjer zaštitnih cijevi	508 mm (20“)	339,7 mm (13 3/8“)	244,5 mm (9 5/8“)	177,8 mm (7“)
Kvaliteta čelika	X-52	J-55	J-55	N-80
Vertikalna dubina kanala bušotine (m)	120	307	604	1126
Mjerena duljina niza zaštitnih cijevi (m)	120	307	604	1126
Kut odklona (°)	0,0	0,0	0,0	0,0

4.8.2. Konstrukcija horizontalne bušotine

Na središnjem području eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran izrađene su tri horizontalne bušotine, tj. 18,75% od ukupnog broja izrađenih bušotina. To su Ivana A-1 hor, Ivana E-2 hor i Ivana E-3 hor. Za tipičnu konstrukciju horizontalne bušotine prikazana je konstrukcija bušotine Ivana E-3 hor. (slika 4-6. i tablica 4-2.)



Slika 4-6. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ivana E-3 hor (Drilling & completion final report - IVANA E, IVANA D, IVANA B - Technical data, 2001.)

U bušotinu Ivana E-3 hor ugrađeni su sljedeći nizovi zaštitnih cijevi. Konduktor kolona zaštitnih cijevi promjera 508 mm (20“) i kvalitete čelika X-52 ugrađena je u fazi instaliranja proizvodne platforme na dubinu od 120 m, mjereno od vrtaćeg stola. Bušenje za uvodnu kolonu izvedeno je dlijetom promjera 406,4 mm (16”) do 311 m mjerene duljine kanala bušotine, odnosno 308 m vertikalne dubine bušotine s kutom odklona od 18,4° na toj dubini. Točka skretanja bušotine nalazi se na 143 m dubine. Uvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 ³/₈“) i kvalitete čelika J-55 ugrađena je do 308 m mjerene duljine kanala, odnosno 305 m vertikalne dubine bušotine. Bušenje za tehničku kolonu zaštitnih cijevi obavljeno je dlijetom promjera 311 mm (12 ¹/₄”) do mjerene duljine kanala od 869 m, odnosno 602 m vertikalne dubine bušotine s kutom odklona od 75,2°. Tehnička kolona zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm (9 ⁵/₈“) i kvalitete čelika J-55 ugrađena je do 867 m duljine bušotine. Za proizvodnu kolonu bušilo se dlijetom promjera 215,9 mm (8 ¹/₂“) do 1058 m mjerene duljine kanala bušotine, odnosno 617 m vertikalne dubine. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) i kvalitete čelika J-55 ugrađena je do duljine kanala bušotine od 1056 m s kutom odklona od 91,3°. Nakon ugradnje proizvodne kolone zaštitnih cijevi bušotina je produbljena za još 150 m dlijetom promjera 155,6 mm (6 ¹/₈“) zbog razotkrivanja najpovoljnijeg sloja u ležištu 1A. (Drilling & completion final report IVANA E, IVANA D, IVANA B – technical data, 2001.)

Tablica 4-2. Konstrukcija bušotine Ivana E-3 hor

	Konduktor kolona	Uvodna kolona	Tehnička kolona	Proizvodna kolona	Nezacijevljeni dio kanala bušotine
Promjer dlijeta	Čekić	406,4 mm (16“)	311 mm (12 1/4”)	215,9 mm (8 1/2”)	155,6 mm (6 1/8“)
Vanjski promjer zaštitnih cijevi	508 mm (20“)	339,7 mm (13 3/8“)	244,5 mm (9 5/8“)	177,8 mm (7“)	-
Kvaliteta čelika	X-52	J-55	J-55	J-55	-
Vertikalna dubina kanala bušotine (m)	120	306	594	618	617
Mjerena duljina niza zaštitnih cijevi (m)	120	308	862	1056	1208
Kut otklona (°)	1,0	18,4	74,1	91,3	91,3

Bušenje u fazi skretanja i konstantnog povećanja kuta odklona na bušotini Ivana E-3 hor izvodilo se pomoću uronjenog vijčanog motora Navi Drill Mach 1C tvrtke Baker Hughes, sklopa za mjerenje tijekom bušenja (*engl. measurement while drilling, MWD*), stabilizatora i dlijeta. Uronjeni motor Navi Drill M1C koristi se tijekom bušenje usmjerenih i horizontalnih dionica. Sastoji se od pogonskog dijela u kojem je omjer reznjeva (ispupčenja) rotora i statorske obloge 5:6, te od kućišta za podešavanje (*engl. adjustable kick off sub, AKO*) koji omogućuje podešavanje kuta odklona. Prikaz sastava alata nalazi se u tablici 4-3.

Bušenje horizontalne sekcije obavilo se s PDC dlijetom promjera 155,6 mm ($6\frac{1}{8}$ "") te uronjenim motorom Navi Drill M1X. Sastav alata pri bušenju horizontalne sekcije prikazan je u tablici 4-4.

Tablica 4-3. Sastav alata pri bušenju zakrivljenog dijela bušotine

ELEMENT	PROIZVOĐAČ	DULJINA m	VANJSKI PROMJER mm (")	UNUTARNJI PROMJER mm (")	VANJSKI PROMJER STABILIZATORA mm (")
Žrvanjsko dlijeto sa zubima /engl. tooth cone	Baker Hughes	0,4	311 ($12\frac{1}{4}$)	3 x 14,287 (18/32)	
Stabilizator / Turbo Back	Baker Hughes	0,79	203,2 (8)	73,025 ($2\frac{7}{8}$)	309,56 ($12\frac{3}{16}$)
Motor Navi Dril M1C	Baker Hughes	8,17	203,2 (8)		307,98 ($12\frac{1}{8}$)
Sklop za mjerjenje tijekom bušenja / MWD	ECF	10,67	203,2 (8)	82,55 ($3\frac{1}{4}$)	
Nemagnetska teška šipka /engl. NMDC	ECF	9,92	203,2 (8)	71,438 ($2\frac{13}{16}$)	(engl. non magnetic drill collar – NMDC)
Stabilizator /engl. String stab	Baker Hughes	0,73	203,2 (8)	73,025 ($2\frac{7}{8}$)	292,1 ($11\frac{1}{2}$)
9 kom. teških bušačih šipki / HWDP	CROSCO	83,99	203,2 (8)	76,2 (3)	(engl. high weight drill pipe – HWDP)
Udarač /engl. JAR	Baker Hughes	9,44	165,1 ($6\frac{1}{2}$)	69,85 ($2\frac{3}{4}$)	
5 kom. teških bušačih šipki / HWDP	CROSCO	46,47	203,2 (8)	76,2 (3)	
Bušaće šipke	CROSCO	-	203,2 (8)		

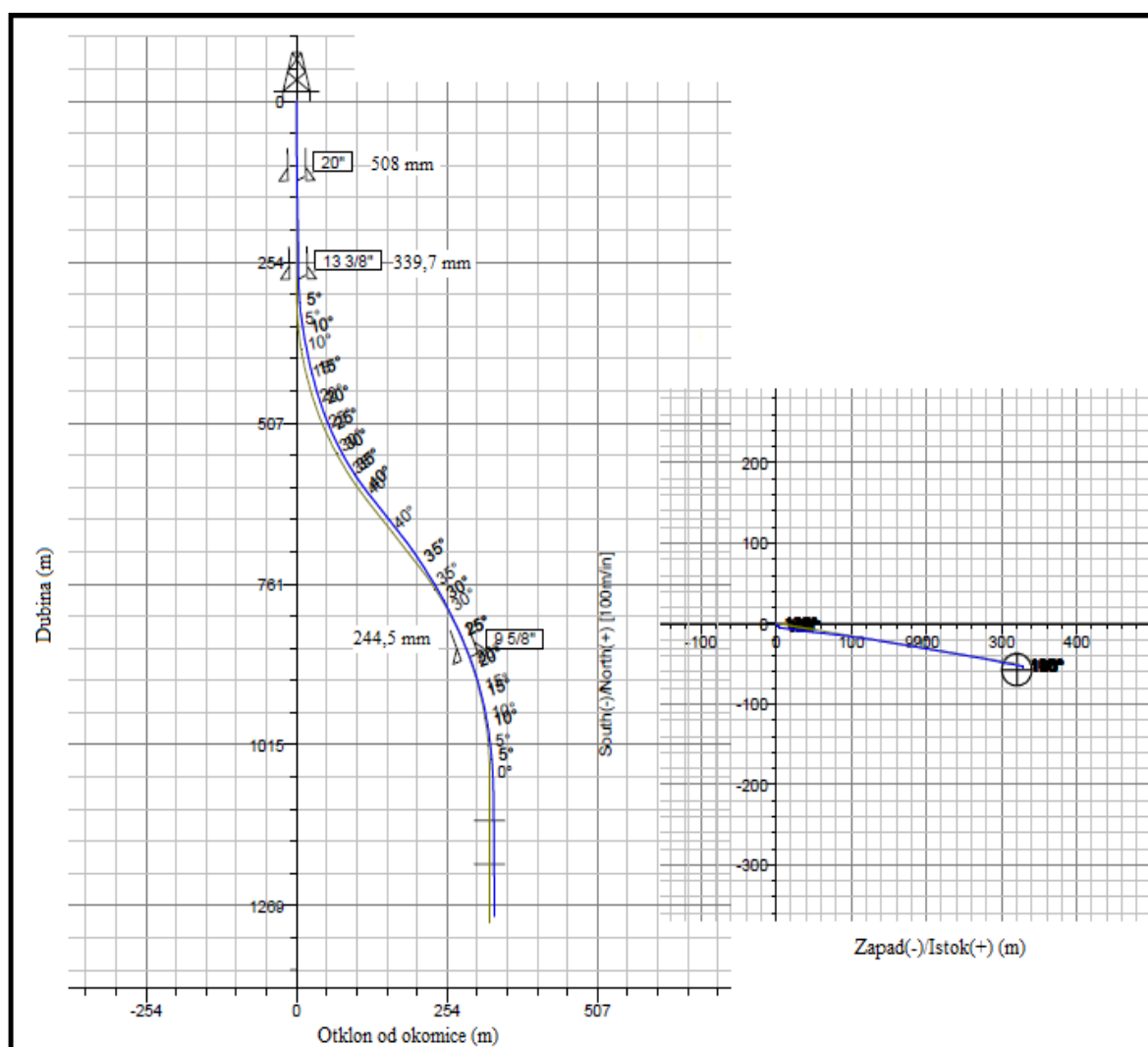
Tablica 4-4. Sastav alata za bušenje horizontalnog dijela bušotine Ivana E-3 hor

ELEMENT	PROIZVOĐAČ	DULJINA (m)	VANJSKI PROMJER mm (")	UNUTARNJI PROMJER mm (")	VANJSKI PROMJER STABILIZATORA mm (")
PDC dlijeto	Baker Hughes	0,26	155,6 (6 1/8)	-	
Stabilizator / Turbo Back	Baker Hughes	0,25	120,65 (4 3/4)	57,15 (2 1/4)	155,6 (6 1/8)
Motor Navi Drill M1X	Baker Hughes	6,31	120,65 (4 3/4)		149,23 (5 7/8)
Alat za mjerenje otpornosti / MPR	Baker Hughes	6,31	120,65 (4 3/4)		
Alat za usmjereno bušenje / MWD NMDP	Baker Hughes	9,35	120,65 (4 3/4)	55,56 (2 3/16)	
Pulzacioni prijelaz / Pulsar sub	Baker Hughes	1,1	120,65 (4 3/4)		
Stabilizator / String stab	Baker Hughes	1,56	120,65 (4 3/4)	57,15 (2 1/4)	142,88 (5 5/8)
Nemagnetska bušaća šipka / S. NM CS DP	Baker Hughes	3,28	120,65 (4 3/4)	69,85 (2 3/4)	
Nemagnetska bušaća šipka / NM CS DP	Baker Hughes	9,33	120,65 (4 3/4)	57,15 (2 1/4)	<i>(engl. non magnetic compressive service drill pipe)</i>
Prijelaz za ppv / Float sub	Baker Hughes	0,51	120,65 (4 3/4)	57,15 (2 1/4)	
72 kom. bušaćih šipki / DP	CROSCO	668,92	88,9 (3 1/2)	69,85 (2 3/4)	
12 kom. teških šipki / DC	CROSCO	113,46	120,65 (4 3/4)	57,15 (2 1/4)	<i>(engl. drill collar – DC)</i>
Hidraulički udarač / HYD JAR	Baker Hughes	9,63	120,65 (4 3/4)	69,85 (2 3/4)	
2 kom. teških šipki / DC	CROSCO	18,92	120,65 (4 3/4)	57,15 (2 1/4)	
Bušaće šipke	CROSCO		88,9 (3 1/2)	69,85 (2 3/4)	

4.8.3. Konstrukcija koso usmjerene bušotine

Sve ostale bušotine na poljima Ivana, Ana i Vesna su usmjerene bušotine. Izrađeno ih je 12, tj. 75 % od ukupnog broja izrađenih bušotina. Tipaska bušotina iz ove skupine je Ana 3 dir.

Bušotina Ana 3 dir ima modificirani „S“ oblik trajektorije, Putanja bušotine sastoji se od pet dionica. Prva dionica je vertikalna sve do točke skretanja kada započinje druga dionica ulazne zakrivljenosti. Treća dionica zadržava postignuti kut otklona. Četvrta dionica je dionica silazne zakrivljenosti i peta je opet vertikalna. Njezin cilj se nalazi oko 300 m horizontalne udaljenosti od proizvodne platforme.



Slika 4-7. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ana 3 dir (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi Ana-2 dir i Ana-3 dir)

Konduktor kolona zaštitnih cijevi promjera 508 mm (20“) i kvalitete čelika X-52 ugrađena je u fazi instaliranja proizvodne platforme na dubinu od 126 m, mjereno od vrtaćeg stola. Bušenje za uvodnu kolonu izvedeno je dlijetom promjera 406,4 mm (16”) do 297 m dubine. Uvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 ³/₈“) i kvalitetom čelika J-55 ugrađena je do 290 m dubine s kutom odklona od 1,8°. Bušenje za tehničku kolonu zaštitnih cijevi obavljeno je dlijetom promjera 311 mm (12 ¹/₄”) do mjerene duljine kanala bušotine od 948 m. Točka skretanja se nalazi na 303 m. Tehnička kolona zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm (9 ⁵/₈“) i kvalitete čelika J-55 ugrađena je do 948 m duljine kanala bušotine i kutom odklona od 23,5° u toj točki. Za proizvodnu kolonu bušilo se dlijetom promjera 215,9 mm (8 ¹/₂”) do 1370 m duljine kanala bušotine. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) i kvalitete čelika N-80 ugrađena je do duljine kanala bušotine od 1370 m s konačnim kutom odklona od 0,4°.

Tablica 4-5. Konstrukcija bušotine Ana 3 dir (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi Ana-2 dir i Ana-3 dir, 2008.)

	Konduktor kolona	Uvodna kolona	Tehnička kolona	Proizvodna kolona
Promjer dlijeta	čekić	406,4 mm (16“)	311 mm (12 ¹ / ₄ ”)	215,9 mm (8 ¹ / ₂ ”)
Vanjski promjer zaštitnih cijevi	508 mm (20“)	339,7 mm (13 ³ / ₈ “)	244,5 mm (9 ⁵ / ₈ “)	177,8 mm (7“)
Kvaliteta čelika	X-52	J-55	J-55	N-80
Vertikalna dubina kanala bušotine (m)	126	290	869	1287
Mjerena duljina niza zaštitnih cijevi (m)	126	290	948	1370
Kut odklona (°)	1,5	1,8	23,5	0,4

Bušenje zakrivljenih dionica na bušotini Ana 3 dir izvodilo se pomoću upravljivih PowerPack motora proizvođača Schlumberger. PowerPack motori imaju ugrađeno podesivo kućište koje omogućuje podešavanje kuta otklona s površine (*engl. surface adjustable bent housing, SAB*) što omogućava izradu više zakrivljenih dionica bez vađenja alata na površinu. U tablicama 4-6. i 4-7. vidi se sastav alata korišten kod bušenja zakrivljenih dionica tehničke i proizvodne kolone.

Tablica 4-6. Sastav alata kod bušenja zakrivljenih dionica za ugradnju tehničke kolone bušotine Ana 3 dir (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi Ana-2 dir i Ana-3 dir, 2008.)

ELEMENT	PROIZVOĐAČ	DUŽINA m	VANJSKI PROMJER mm (")	VANJSKI PROMJER STABILIZATORA mm (")
PDC dlijeto	Hughes Christensen	0,35	311 (12 1/4)	
Motor PowerPack A800M7840XP	Schlumberger	8,29	209,6 (8 1/4)	307,98 (12 1/8)
Prijelaz za ppv / Float sub	Schlumberger	0,86	203,2 (8)	
Stabilizator	Schlumberger	2,42	203,2 (8)	292,1 (11 1/2)
Nemagnetna teška šipka / NM DC	Schlumberger	9,43	203,2 (8)	
Alat za usmjereno bušenje / PowerPulse HF	Schlumberger	8,87	215,9 (8 1/2)	
2 kom nemagnetnih teških šipki / NM DC	Schlumberger	18,95	203,2 (8)	
Hidraulički udarač / Hydraulic Jar	Schlumberger	9,64	203,2 (8)	
18 kom. teških bušačih šipki / HWDP	CROSCO	162	127 (5)	
Pozicionirajući sustav / DPS	Schlumberger	10	127 (5)	

Tablica 4-7. Sastav alata primijenjen kod bušenja kanala bušotine za ugradnju proizvodne kolone bušotine Ana 3 dir (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi Ana-2 dir i Ana-3 dir, 2008.)

ELEMENT	PROIZVOĐAČ	DUŽINA m	VANJSKI PROMJER mm (")	VANJSKI PROMJER STABILIZATORA mm (")
Trožrvanjsko dlijeto	Baker Hughes	0,3	215,9 (8 1/2)	
Motor PowerPack A675S4570XP	Schlumberger	8,07	171,45 (6 3/4)	212,73 (8 3/8)
Prijelaz za ppv / Float sub	Schlumberger	1,23	171,45 (6 3/4)	
Stabilizator	Schlumberger	2,23	171,45 (6 3/4)	212,73 (8 3/8)
Nemagnetna teška šipka / NM DC	Schlumberger	8,61	171,45 (6 3/4)	
Alat za usmjereno bušenje / PowerPulse HF	Schlumberger	8,39	171,45 (6 3/4)	
Nemagnetna teška šipka / NM DC	Schlumberger	9,46	171,45 (6 3/4)	
Hidraulički udarač / Hydraulic Jar	Schlumberger	9,14	165,1 (6 1/2)	
18 kom. teških bušačkih šipki / HWDP	CROSCO	167,87	127 (5)	
Pozicionirajući sustav / DPS	Schlumberger	10	127 (5)	

5. PLINSKO POLJE IZABELA

Koncesionar na eksploatacijskom polju Izabela je tvrtka EDINA, nastala zajedničkim ulaganjem talijanske tvrtke Edison i hrvatske tvrtke INA d.d.

Plinsko polje Izabela je plitko plinsko ležište smješteno u sjevernom Jadranu, u epikontinentskom pojasu Republike Hrvatske. Nalazi se otprilike 57 km sjeverozapadno od Pule i 21 km sjeverno od plinskog polja Ivana. Dubina mora u području zahvata iznosi 38 m.

U svrhu pridobivanja plina iz plinskog polja Izabela izrađene su dvije platforme: IZABELA JUG i IZABELA SJEVER. Udaljenost među njima je 3,1 km. Na svakoj proizvodnoj platformi izgrađene su tri bušotine opremljene dvostrukim proizvodnim nizovima.

Proizvodne platforme su bez stalne ljudske posade, samoregulirajuće te daljinski upravljane pomoću radio i satelitske veze s kopna (kontrolne sobe u Puli). Energetski su platforme samostalne cjeline, povezane podmorskim visokonaponskim kabelom. Proizvodna platforma IZABELA JUG opremljena je plinskim agregatima za proizvodnju električne energije i napajanje svih električnih trošila za obje platforme.

Prema projektnom zadatku na plinskom polju Izabela raskrivena su te privedena proizvodnji ležišta: PLQ-1A, PLQ-5A, PLQ-1E, PLQ-1F i PLQ-5A BASAL koja su smještena na dubinama od 700 do 900 m. Ležišta sačinjavaju slabo konsolidirani pješčenjaci, a njihova prisutnost otkrivena je i potvrđena tijekom bušenja istražne bušotine Izabela-1 i ocjenske bušotine Izabela-2.

Na osnovu interpretacije elektrokarotaznih mjerenja i analize prikupljenih podataka nakon bušenja i ispitivanja spomenutih bušotina, određene su dvije lokacije za postavljanje proizvodnih platformi. S obzirom na oblik i rasprostiranje ležišta, u odnosu na zadane lokacije proizvodnih platformi, definirana je izgradnja koso usmjerenih bušotina čime je omogućen optimalan doseg i efikasno prekrivanje ležišta. Izrađene su tri koso usmjerene bušotine na proizvodnoj platformi IZABELA JUG, te dvije na proizvodnoj platformi IZABELA SJEVER, dok je prethodno izgrađena bušotina (Izabela-2 VER) na proizvodnoj platformi IZABELA SJEVER okomita.

Bušotine su izgrađene samopodižućom bušaćom platformom „Ocean King“ s pomičnom konzolnom podkonstrukcijom (*engl. jack up drilling rig cantilever type*) koja omogućava izvlačenje tornja izvan gabarita platforme i njegovo horizontalno pomicanje.

(Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008.)

5.1. IZABELA JUG

Na proizvodnoj platformi IZABELA JUG koja je smještena na dubini mora od 37,5 m u svrhu pridobivanja plina izrađene su tri bušotine: Izabela-3 dir, Izabela-4 dir i Izabela-5 dir, a postoji i rezervni otvor za eventualnu buduću izradu bušotine. Bušotine su opremljene dvostrukim proizvodnim nizovima. Platforma je oslonjena na četiri noge te učvršćena na morsko dno pomoću nabijenih pilota. Na postolje platforme postavljene su četiri palube s glavnim i pomoćnim procesnim postrojenjima za pridobivanje i otpremu ugljikovodika. (Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008.)

5.2. IZABELA SJEVER

Na proizvodnoj platformi IZABELA SJEVER koja je smještena na dubini mora od 36,8 m, u svrhu pridobivanja plina izrađene su tri bušotine: Izabela-2 ver, Izabela-7 dir i Izabela-8 dir, a također postoji rezervni otvor za eventualnu buduću izradu bušotine. Bušotine su opremljene dvostrukim proizvodnim nizovima.

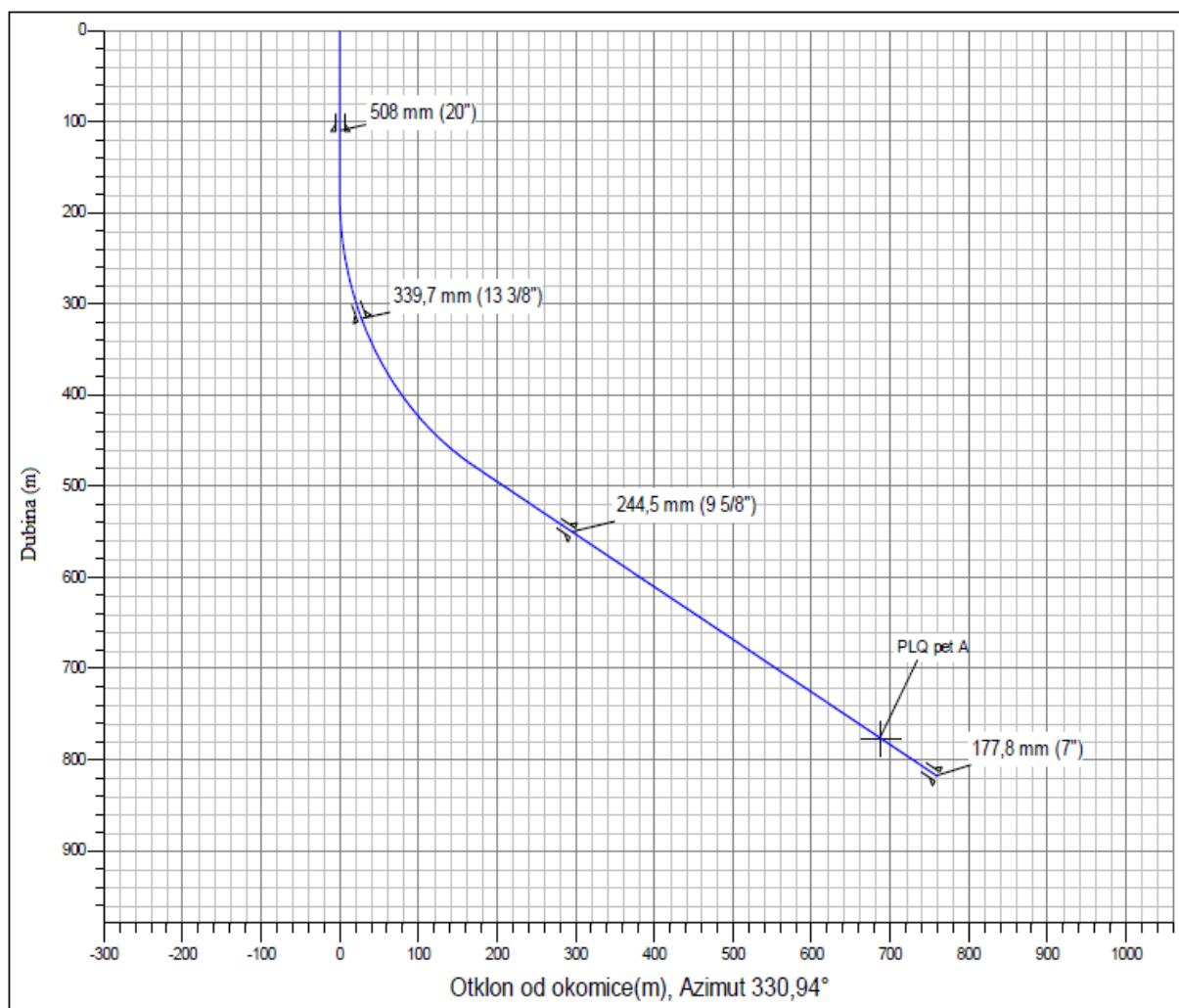
Proizvodna platforma IZABELA SJEVER je monopod izvedbe učvršćena na morskom dnu pomoću nabijenih pilota. Na postolje proizvodne platforme postavljene su tri palube s ugrađenim glavnim i pomoćnim procesnim postrojenjima za pridobivanje i otpremu ugljikovodika, te pristanište za brodove. (Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008.)

5.3. TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINE POLJA IZABELA

Na polju Izabela je šest bušotina od kojih je jedna vertikalna i pet koso usmjerenih bušotina. To su bušotine platforme IZABELA JUG: Izabela–3 dir, Izabela–4 dir, Izabela–5 dir i bušotine platforme IZABELA SJEVER: Izabela-2 ver, Izabela-7 dir i Izabela-8 dir.

5.3.1. Konstrukcija koso usmjerene bušotine

Kako je već rečeno, na polju Izabela je pet koso usmjerenih bušotina: Izabela–3 dir, Izabela–4 dir, Izabela–5 dir, Izabela-7 dir i Izabela-8 dir. Sve one su slične po projektiranoj putanji bušotine i iste konstrukcije. Vertikalna dubina tih bušotina je u rasponu od 800 do 950 m, a otklon od vertikale, tj. horizontalna udaljenost od 511 do 1076 m. Kao primjer tipične koso usmjerene bušotine prikazana je bušotina Izabela-4 dir. (slika 5-1.)

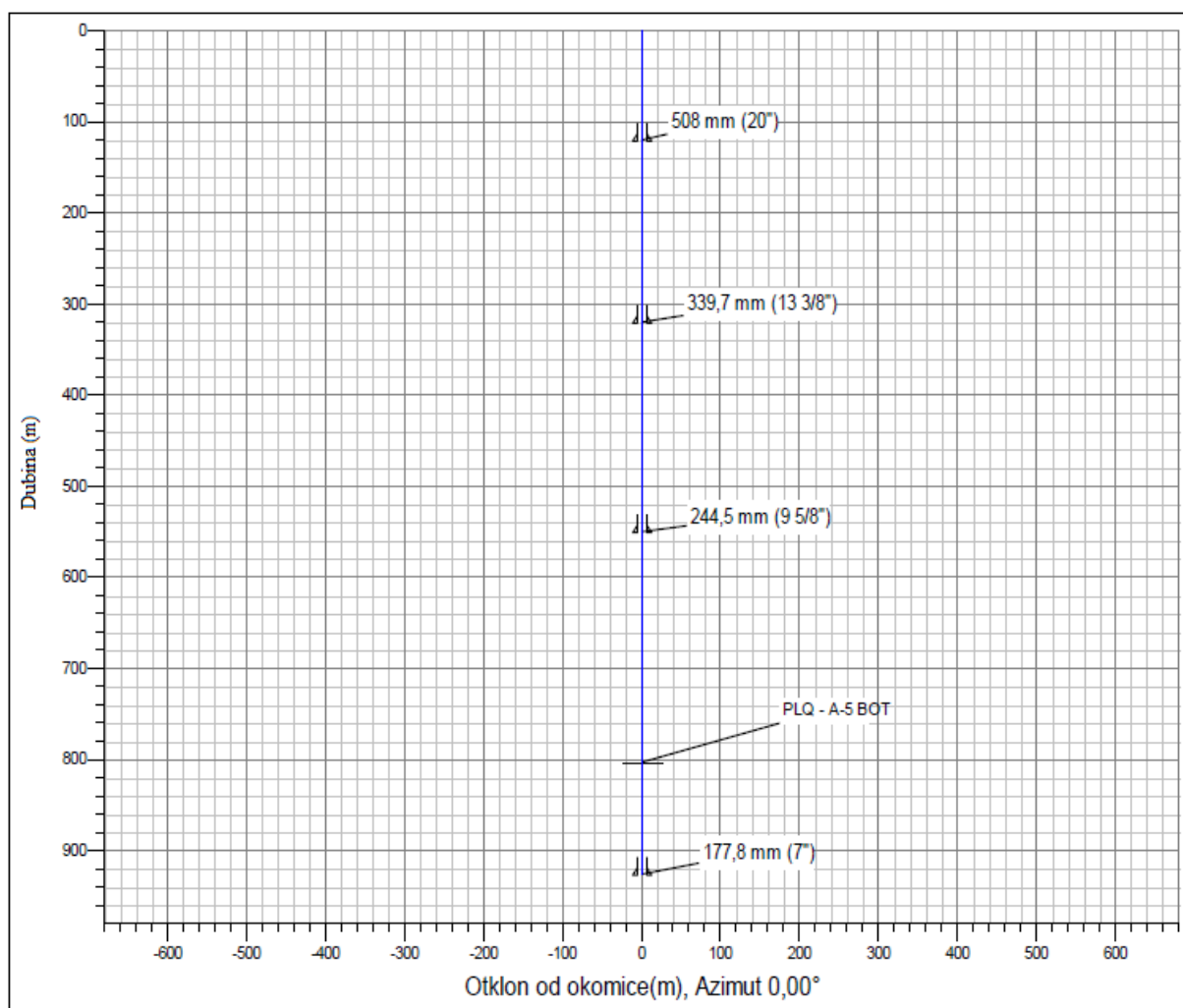


Slika 5-1. Projektirana putanja bušotine Izabela-4 dir (Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008)

Konduktor kolona zaštitnih cijevi vanjskog promjera 508,0 mm (20") ugrađena je mehaničkim nabijanjem pomoću čekića, okomito u morsko dno, kroz vodilice koje su sastavni dio temeljnog nosača radne platforme. Konduktor kolona na svim bušotinama ugrađena je do dubine 120 m, mjereno od vrtaćeg stola samopodižuće bušaće platforme koji je od razine mora udaljen 32 m. Nakon ugradnje konduktor kolone uslijedilo je bušenje kanala bušotine promjera 406,4 mm (16") te ugradnja uvodne kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 ³/₈") do dubine 320 m koja je prekrila nekonsolidirane površinske formacije. Bušenje je nastavljeno dlijetom promjera 311 mm (12 ¹/₄") za tehničku kolonu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm (9 ⁵/₈"). Tehnička kolona zaštitnih cijevi ugrađena je do 684 m mjerene duljine kanala bušotine, odnosno do 550 m vertikalne dubine. Ugradnjom tehničke kolone zaštitnih cijevi prekrivene su nekonsolidirane površinske formacije do najblićeg ležišta te je osigurana sigurna izrada bušotine do konačne dubine ispod podine zadnjeg ležišta. Za proizvodnu kolonu bušilo se dlijetom promjera 215,9 mm (8 ¹/₂") do 1220 m dubine. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7") ugrađena je do duljine kanala od 1219 m, odnosno 818 m vertikalne dubine s kutom otklona od 60°. Otklon od okomice iznosi 760 m. (Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008)

5.3.2. Konstrukcija vertikalne bušotine

Vertikalna bušotina Izabela 2-VER izrađena je s jednostopne konstrukcije proizvodne platforme IZABELA SJEVER. Bušotina Izabela-2 VER izrađena je u svrhu ispitivanja i potvrde rezervi te je osigurana sustavom za privremeno napuštanje bušotina na moru (*engl. mud line suspension system - MLS*) čime je omogućen nastavak radova na istoj lokaciji u svrhu opremanja te bušotine. Time je ujedno definirana geografska lokacija proizvodne platforme IZABELA SJEVER.



Slika 5-2. Projektirana putanja bušotine Izabela-2 VER (Glavni rudarski projekt eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, 2008)

Konduktor kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 508,0 mm (20") ugrađene su okomito u morsko dno do dubine 120 m, mjereno od vrtaćeg stola samopodizjuće bušaće platforme koji je od razine mora udaljen 32 m. Nakon ugradnje konduktor kolone uslijedila

je ugradnja uvodne kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm ($13 \frac{3}{8}$ "") do dubine 320 m koje su prekrile nekonsolidirane površinske formacije. Tehnička kolona zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm ($9 \frac{5}{8}$ "") ugrađena je na mjerenu dubinu od 550 m. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi, odnosno proizvodni lajner (*engl. liner*) promjera 177,8 mm (7") osiguran je sustavom vješalice na 505 m unutar tehničke kolone zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm ($9 \frac{5}{8}$ "") , i ugrađen do dubine od 926 m.

6. PLINSKA POLJA IKA, IDA, ANNAMARIA I IRINA

Jugoistočno od plinskog polja Ivana nalaze se relativno blizu polja Ika, Ida, Annamaria i Irina s ukupno osam proizvodnih platformi i ukupno 24 bušotine.

Na plinskom polju Ika nalaze se tri proizvodne platforme IKA A s tri horizontalne bušotine i jednom koso usmjerenom bušotinom, IKA B s dvije koso usmjerene bušotine i jednom re-entry horizontalnom bušotinom te IKA JZ s pet koso usmjerenih bušotina. Cilj je bio opremiti bušotine u najpovoljnijem dijelu strukture. Plinsko polje Ika jedino je polje čije se ležište plina nalazi u karstificiranim krednim karbonatima. (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip d.o.o.)

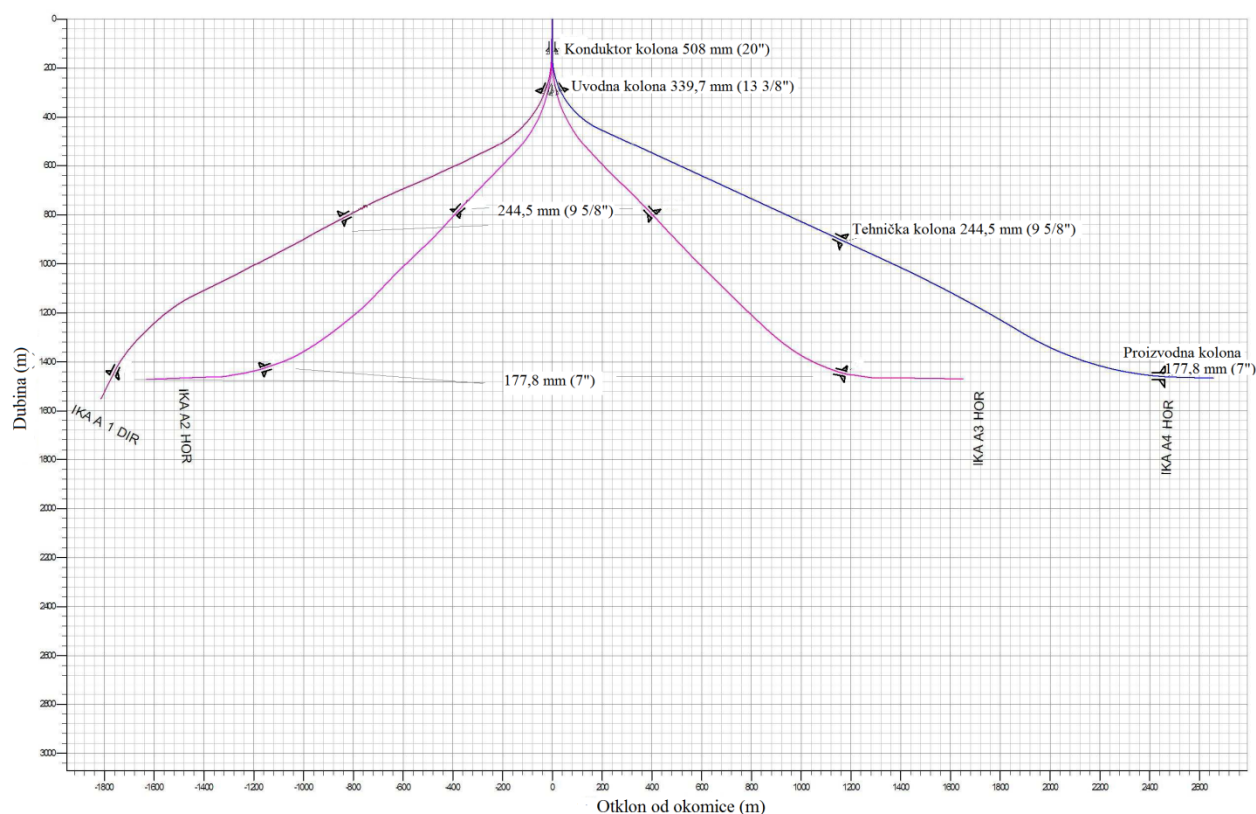
Plinsko polje Ida razrađeno je instaliranjem tri proizvodne platforme IDA A, s jednom vertikalnom bušotinom, IDA B s dvije koso usmjerene bušotine i IDA C s tri koso usmjerene bušotine. (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip d.o.o.)

Plinsko polje Annamaria razrađeno je postavljanjem proizvodne platforme ANNAMARIA A sa šest koso usmjerenih bušotina, te plinsko polje Irina, s istoimene platforme, na kojoj je izrađena jedna koso usmjerena bušotina. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi ANNAMARIA, 2009.)

6.1. IKA A

Platforma IKA A smještena je na južnom dijelu eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran, udaljena otprilike 61 km od Pule i 88 km od Ravenne. Dubina mora je oko 55 m. Platforma je postavljena na četiri noge s mogućnošću bušenja četiri bušotine. Cilj tih bušotina bili su plinska ležišta u pleistocenskim turbiditima, mezozoičkim vapnencima i dolomitima. Formacija proizvodnih zona su nekonsolidirani pijesci i karbonati.

Bušotine proizvodne platforme IKA A su koso usmjerena bušotina Ika A-1 dir, i tri horizontalne bušotine Ika A-2 hor, Ika A-3 hor i naknadno izrađena bušotina Ika A-4 hor. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IKA A, 2005.)



Slika 6-1. Grafički prikaz ostvarenih trajektorija bušotina (*engl. spider plot*) (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip)

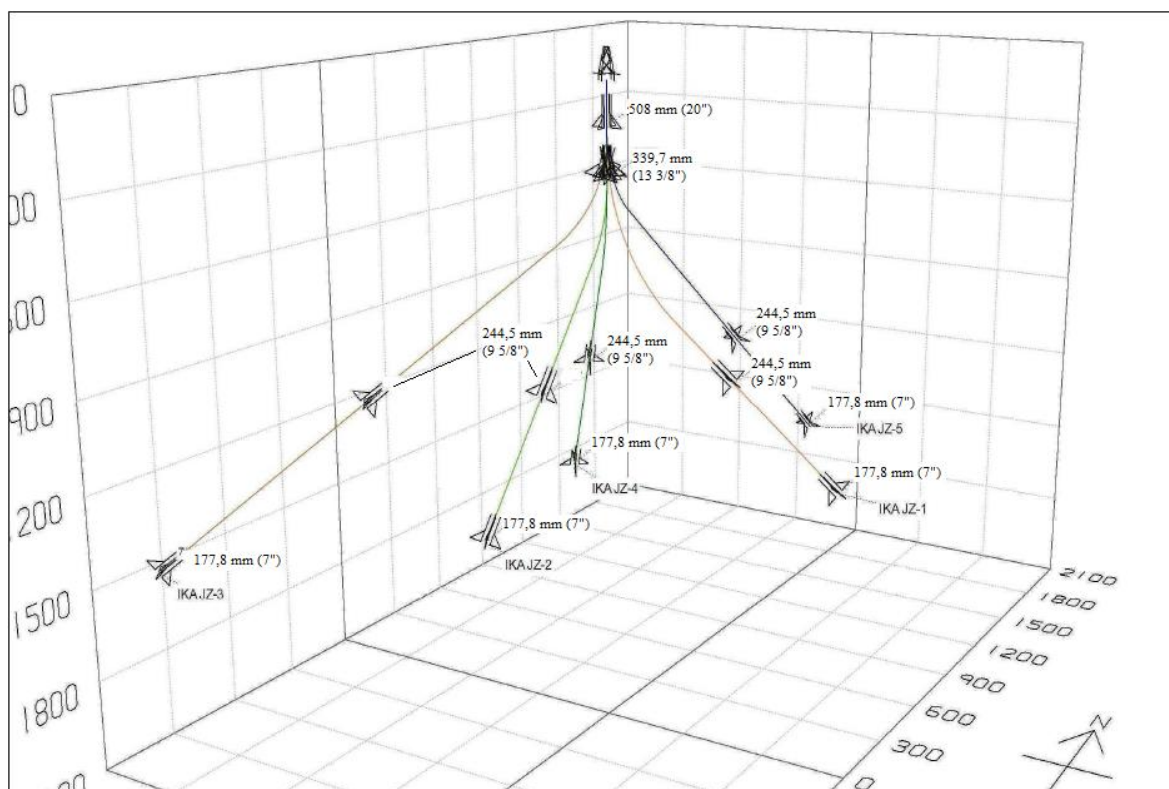
6.2. IKA B

Platforma IKA B također je smještena u južnom dijelu eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran, relativno blizu platforme IKA A. Platforma je tipa monopod s mogućnošću izrade 3 bušotine. Dvije koso usmjerene bušotine, Ika B-1 dir i Ika B-2 dir izbušene su za

proizvodnju plina iz ležišta pleistocenskih turbidita (Ika B-1 dir) i ležišta karbonata (Ika B-2 dir). (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IKA B, 2006.)

6.3. IKA JZ

Platforma IKA JZ nalazi se u hrvatskom dijelu Jadranskog mora, te je instalirana na dubini mora od 64 metra. Platforma IKA JZ je bez posade, potpuno automatizirana, samoregulirajuća, a daljinski nadzor i upravljanje obavlja se s postojeće platforme ANNAMARIA A. Ika JZ je platforma tipa tripod odnosno ima postolje s tri noge. U poizvodnju je puštena 2014. godine. S platforme IKA JZ izbušeno je 5 koso usmjerenih bušotina. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina polja IKA JZ, 2014.)



Slika 6-2. Trodimenzionalni skupni pregled trajektorija svih bušotina polja Ika JZ (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina polja IKA JZ, 2014.)

6.4. IDA A

Platforma IDA A je proizvodna odobalna platforma jednostopne konstrukcije (monopod), dio proizvodno-sabirno-otpremnog sustava plinskih polja Ika i Ida u hrvatskom dijelu eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran. S platforme IDA A izrađena je jedna vertikalna bušotina, s ciljem da omogući raskrivanje i opremanje ležišta: PLQ1-D4, PLQ-A2, PLQ-A4, PLQ-A5 (na dubinama od oko 810 do 980 m ispod morskog dna (*engl. true vertical depth subsea – TVDSS*)). Dubina mora iznosi oko 47 m, a tijekom izrade bušotine visina vrtaćeg stola bila je 30 m iznad razine mora. (Platform IDA A drilling & completion final report, 2006.)

6.5. IDA B

Platforma IDA B smještena je otprilike 55 km od Pule i 92 km od Ravenne. Dubina mora je 53,3 m. Platforma je tipa monopod koja ima dvije bušotine i mogućnost bušenja jedne dodatne bušotine. Konduktor kolone ugrađene su na dubinu 50 m ispod morskog dna tijekom ugradnje postolja platforme.

S platforme IDA B izbušene su dvije koso usmjerene bušotine : Ida B-1 dir ($45^{\circ}/39^{\circ}$) i Ida B-2 dir (70°). Cilj tih bušotina bilo je plinsko ležište PLQ-B1 u pleistocenskim turbiditima. (Drilling & completion final report – IDA B, 2006.)

6.6. IDA C

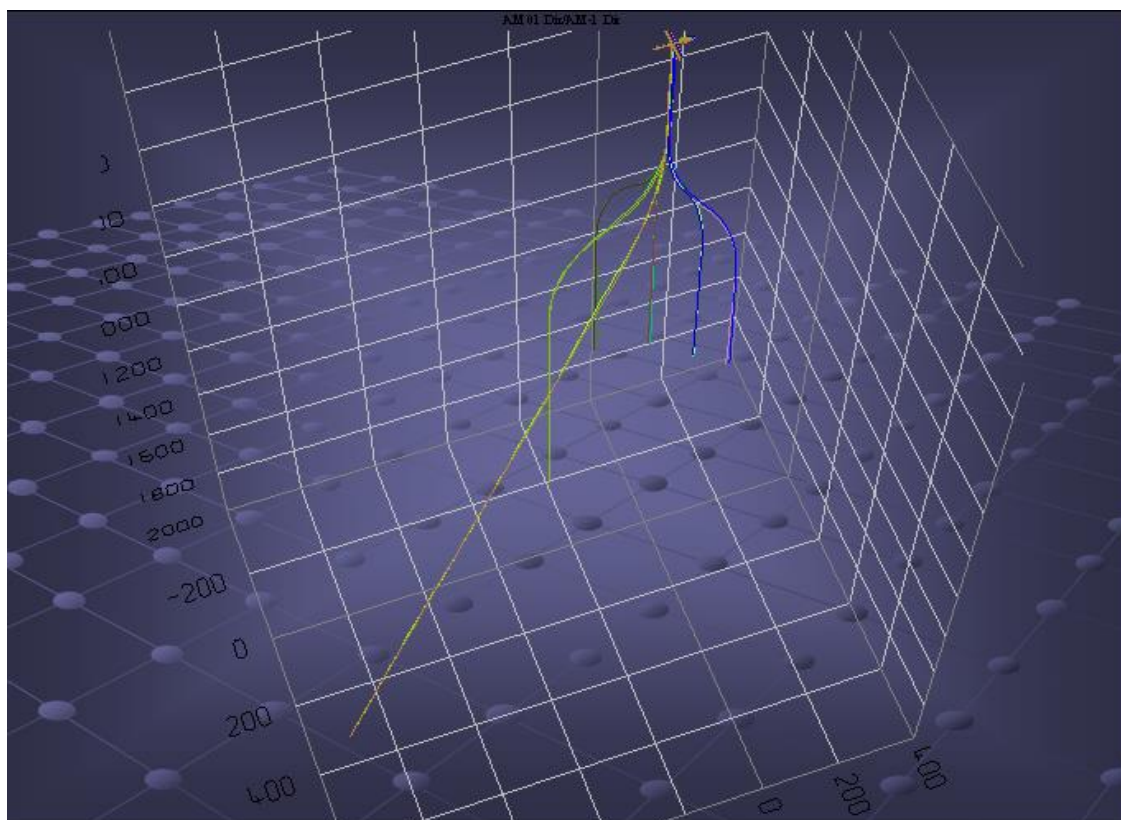
Platforma IDA C smještena je otprilike 50 km od Pule i 35 km južno od plinskog polja Ivana. Dubina mora je 51,3 m. Platforma je izvedena kao monopod koja ima mogućnost bušenja četiri bušotine. Konduktor cijevi zaštitne kolone ugrađene su tijekom postavljanja nadgrađa, procesnog modula. S platforme IDA C, probušene su tri koso usmjerene bušotine: Ida C-1 dir (kut otklona 40°), Ida C-2 dir (kut otklona 55°) i Ida C-3 dir (kut otklona 60°) kojima je cilj u najpovoljnijem dijelu strukture razotkriti ležišta plina iz pleistocenskih turbidita. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IDA C, 2005.)

6.7. IRINA

Platforma IRINA smještena je 53 km jugozapadno od Pule, na dubini mora od 47,5 m. Platforma Irina je monopod s dva bušotinska otvora od kojih je jedan rezervni. Konduktorske kolone su zabijene tijekom postavljanja postolja na dubinu od 50 m. S platforme IRINA izbušena je jedna proizvodna bušotina kojoj je glavni cilj, prema geološkom programu, proizvoditi plin iz plinskih ležišta pleistocenskih turbidita. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Irina-1 dir, 2008.)

6.8. ANNAMARIA A

Platforma ANNAMARIA A nalazi se u sjevernom Jadranu blizu međudržavne linije razgraničenja s Italijom. Tetrapod platforma ANNAMARIA A je najveća platforma u sjevernom Jadranu i uz platformu IVANA A jedina ima stalnu posadu. S platforme ANNAMARIA A izbušeno je šest koso usmjerenih bušotina: Am-A1, Am-A2, Am-A3, Am-A4, Am-A5 i Am-A12 koje proizvode oko 0,8 milijuna kubičnih metara plina dnevno, što je oko 8 % sveukupne proizvodnje plina u Hrvatskoj. (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi ANNAMARIA, 2009.)



Slika 6-3. Grafički prikaz planiranih i ostvarenih trajektorija bušotina na proizvodnoj platformi ANNAMARIA A (*engl. spider plot*) (Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi ANNAMARIA, 2009.)

6.9. TIPIČNA KONSTRUKCIJA BUŠOTINA POLJA IKA, IDA, IRINA I ANNAMARIA

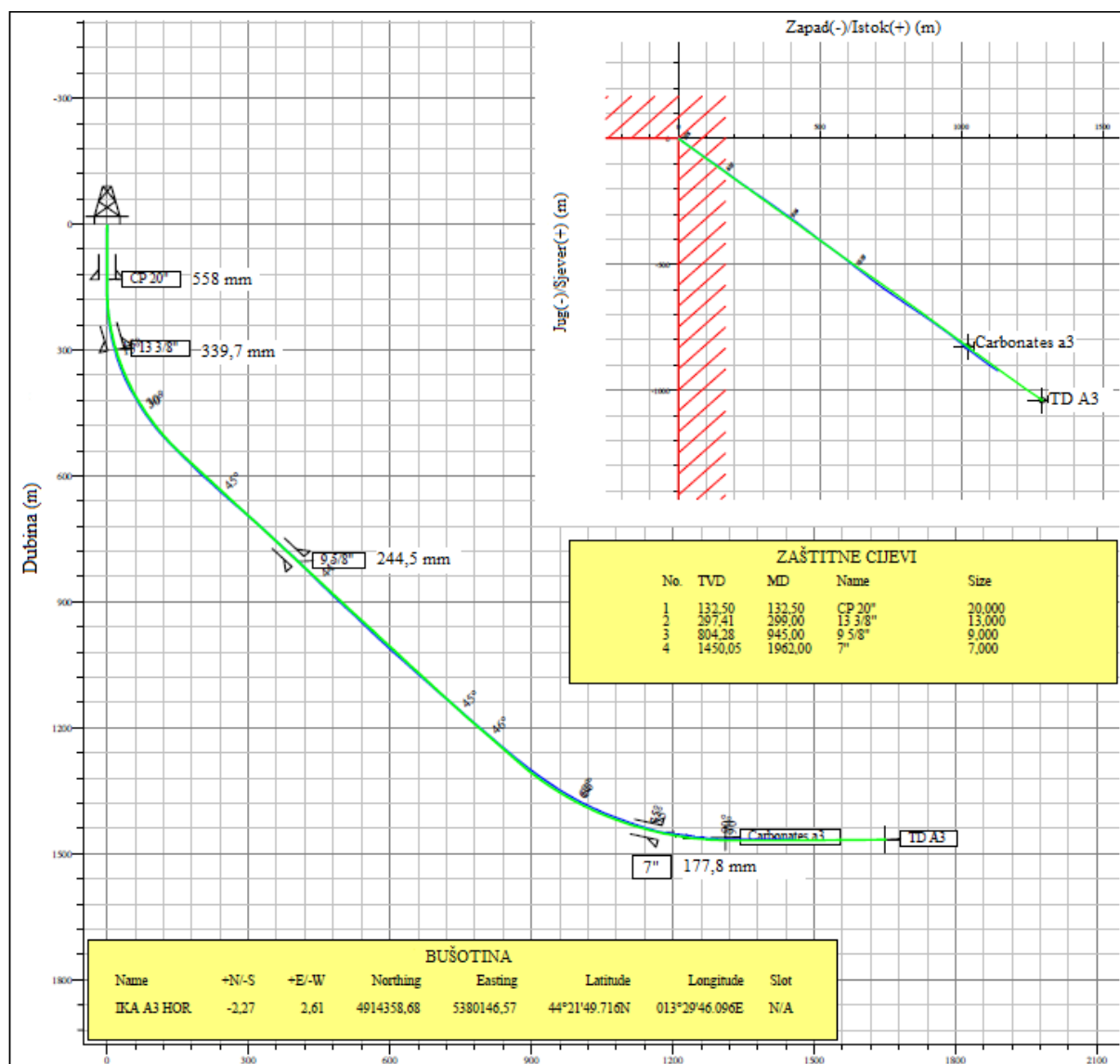
Konstrukcija bušotina na ovom području slična je s ostalim bušotinama u eksploatacijskom polju sjevernog Jadrana. Na poljima Ika, Ida, Irina i Annamaria izgrađeno je 25 bušotina od kojih je vertikalna samo jedna i to Ida A1 ver, tri su horizontalne izbušene s platforme IKA A i dvadeset i jedna koso usmjerena bušotina s ostalih platformi. (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip d.o.o.)

6.9.1. Vertikalna bušotina

Vertikalna bušotina je samo jedna i to je Ida A-1 ver izbušena s platforme IDA A. Konstrukcija bušotine Ida A-1 ver gotovo je identična opisanoj vertikalnoj bušotini u podpoglavlju 5.3.2.

6.9.2. Horizontalna bušotina

Na južnom području eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran izgrađene su 3 horizontalne bušotine, što čini 12,5% od ukupnog broja izgrađenih bušotina na tom području. To su bušotine Ika A-2 hor, Ika A-3 hor i Ika A-4 hor. Kao tipičnu može se opisati konstrukcija bušotine Ika A-3 hor.



Slika 6-4. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ika A-3 hor (IKA-A drilling and completion final report wells Ika A-1 dir, Ika A-2 hor, Ika A-3 hor)

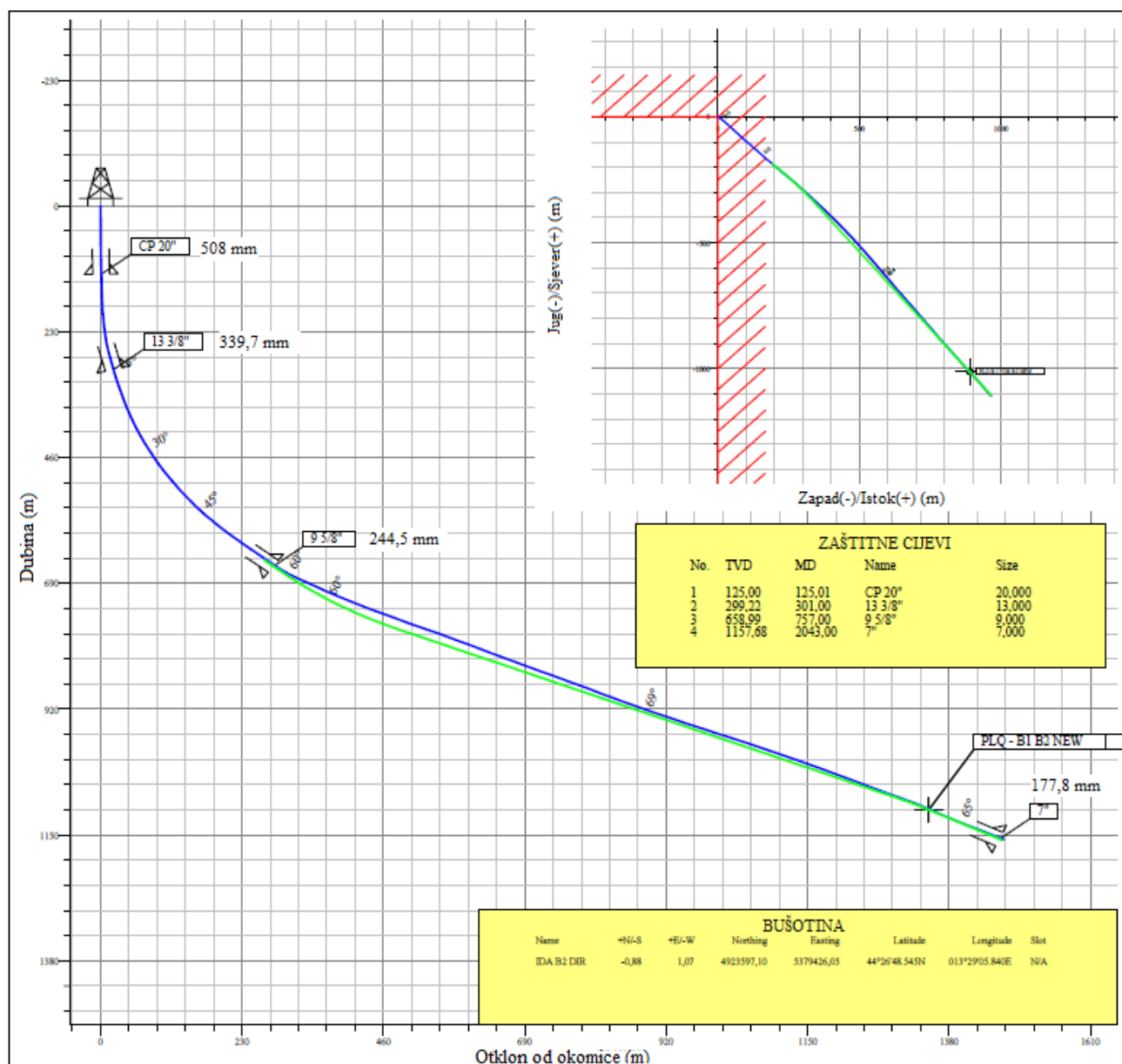
Konduktor kolona promjera 508 mm (20“) i kvalitete čelika X-52 ugrađena je u fazi instaliranja proizvodne platforme na dubinu od 130 m, mjereći od vrtaćeg stola. Bušenje za uvodnu kolonu izvođeno je dlijetom promjera 406,4 mm (16”) do 303 m mjerene duljine kanala s kutom otklona od 15° na toj dubini. Uvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 3/8“) i kvalitetom čelika J-55 ugrađena je do 299 m mjerene duljine kanala bušotine. Bušenje za tehničku kolonu zaštitnih cijevi obavljeno je dlijetom promjera 311 mm (12 1/4”) do mjerene duljine kanala od 948 m, odnosno 804 m vertikalne dubine s postignutim kutom otklona od 46°. Tehnička kolona zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm (9 5/8“) i kvalitete čelika J-55 ugrađena je do 945 m dubine bušotine. Za proizvodnu kolonu bušilo se dlijetom promjera 215,9 mm (8 1/2“) do 1976 m duljine kanala bušotine, odnosno 1451 m vertikalne dubine. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7“) i kvalitete čelika L-80 ugrađena je do duljine kanala od 1962 m s kutom otklona od 73°. Nakon ugradnje proizvodne kolone zaštitnih cijevi bušotina je produbljena za još 134 m dlijetom promjera 155,6 mm (6 1/8“) na konačnu duljinu kanala od 2110 m s kutom otklona od 90° i vertikalnom dubinom od 1466 m. Cilj bušotine bili su plinsko ležište karbonata i turbidita na konačnoj dubini od 1466 m i horizontalnoj udaljenosti od platforme za oko 1350 – 1800 m.

Tablica 6-1. Konstrukcija bušotine Ika A-3 hor

	Konduktor kolona	Uvodna kolona	Tehnička kolona	Proizvodna kolona	Nezacijevljeni dio kanala bušotine
Promjer dlijeta	čekić	406,4 mm (16“)	311 mm (12 1/4”)	215,9 mm (8 1/2”)	155,6 mm (6 1/8“)
Vanjski promjer zaštitnih cijevi	508 mm (20“)	339,7 mm (13 3/8“)	244,5 mm (9 5/8“)	177,8 mm (7“)	-
Kvaliteta čelika	X-52	J-55	J-55	L-80	-
Vertikalna dubina kanala bušotine (m)	130	298	604	1448	1466
Mjerena duljina niza zaštitnih cijevi (m)	130	299	945	1976	2110
Kut otklona (°)	0,0	15,0	46,0	73,0	90,0

6.9.3. Koso usmjerena bušotina

Kako je već napomenuto na južnom djelu eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran izgrađena je dvadeset i jedna koso usmjerena bušotina. Sve one su slične po projektiranoj putanji bušotine i gotovo iste su konstrukcije. Vertikalna dubina tih bušotina je u rasponu od 800 do 950 m, a otklon od vertikale, tj. horizontalni otklon do 1800 m. Kao tipična koso usmjerena bušotina odabrana je bušotina Ida B-2 dir.



Slika 6-5. Trajektorija i horizontalna projekcija bušotine Ida B-2 dir (Drilling & completion final report - IDA B)

Konduktor kolona vanjskog promjera 508,0 mm (20") ugrađena je okomito u morsko dno. Konduktor kolona ugrađena je do dubine 130 m, mjereno od vrtaćeg stola. Nakon ugradnje konduktor kolone uslijedilo je bušenje kanala bušotine promjera 406,4 mm (16") te ugradnja uvodne kolone zaštitnih cijevi promjera 339,7 mm (13 3/8") do duljine kanala od 294 m s kutom odklona od 15° koja je prekrila nekonsolidirane površinske formacije. Bušenje je nastavljeno dlijetom promjera 311 mm (12 1/4") za tehničku kolonu zaštitnih cijevi vanjskog promjera 244,5 mm (9 5/8"). Tehnička kolona zaštitnih cijevi ugrađena je na mjerenu duljinu kanala od 758 m s postignutim kutom od 53° na toj dubini. Ugradnjom tehničke kolone zaštitnih cijevi prekrivene su nekonsolidirane površinske formacije do najplićeg ležišta te je osigurana sigurna izrada bušotine do konačne dubine ispod podine zadnjeg ležišta. Za proizvodnu kolonu bušilo se dlijetom promjera 215,9 mm (8 1/2") do postignute duljine kanala od 2049 m. Proizvodna kolona zaštitnih cijevi promjera 177,8 mm (7") ugrađena je do duljine kanala od 2042 m s kutom odklona od 65°. Horizontalni odklon iznosi 1510 m. (Drilling & completion final report – IDA B, 2006.)

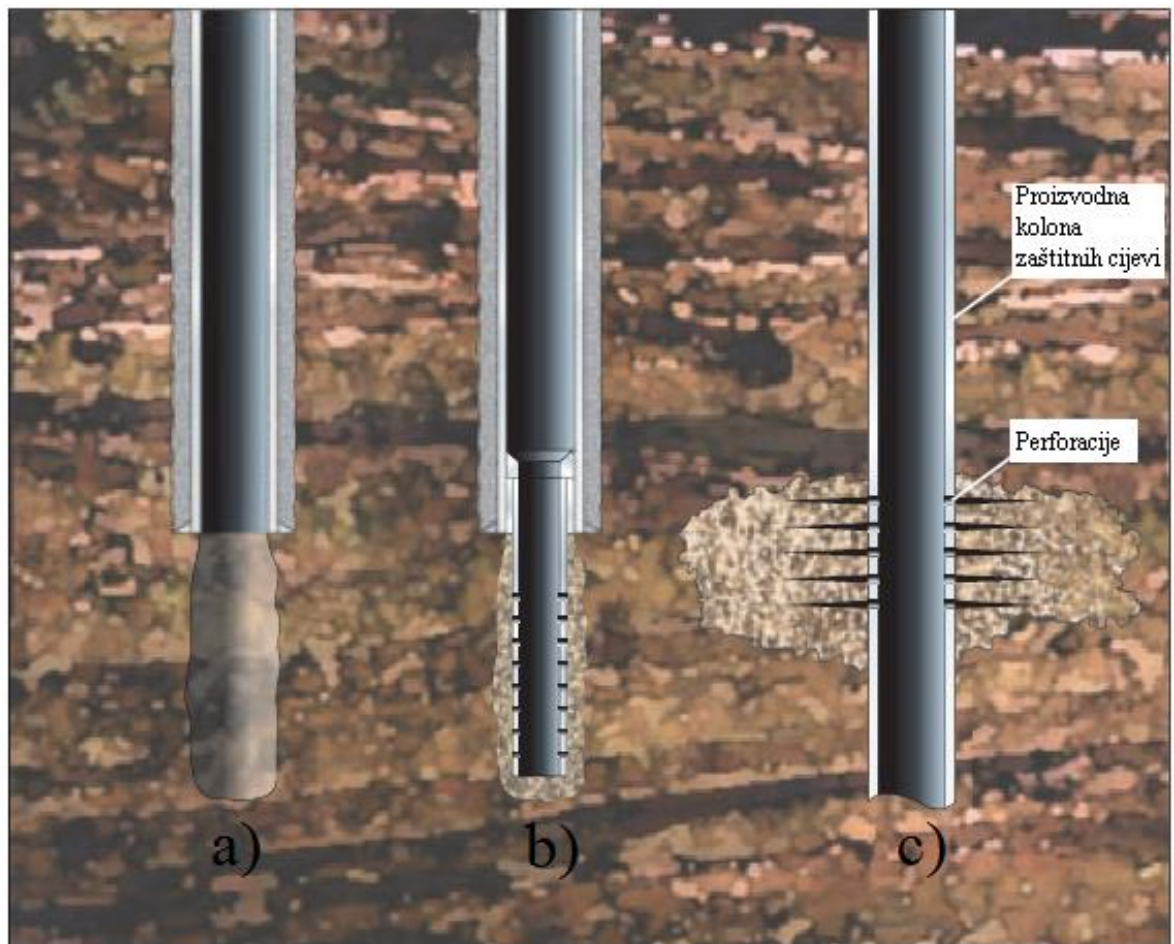
Tablica 6-2. Konstrukcija bušotine Ida B-2 dir (Drilling & completion final report – IDA B, 2006.)

	Konduktor kolona	Uvodna kolona	Tehnička kolona	Proizvodna kolona
Promjer dlijeta	čekić	406,4 mm (16")	311 mm (12 1/4")	215,9 mm (8 1/2")
Vanjski promjer zaštitnih cijevi	508 mm (20")	339,7 mm (13 3/8")	244,5 mm (9 5/8")	177,8 mm (7")
Kvaliteta čelika	X-52	J-55	J-55	J-55
Vertikalna dubina kanala bušotine (m)	130	292	659	1159
Mjerena duljina niza zaštitnih cijevi (m)	130	294	758	2042
Kut odklona (°)	0,1	14,0	53,1	65,0

7. OPREMANJE BUŠOTINA

Završno proizvodno opremanje bušotine podrazumijeva cijevi, alat i opremu postavljene u bušotinu kako bi se provodila ili kontrolirala proizvodnja ili utiskivanje fluida. Postoji nekoliko načina proizvodnog opremanja bušotina. Najčešći kriteriji za odabir su:

- interakcija bušotine i ležišta (nezacijevljeni kanal intervala bušotine, zacijevljena bušotina);
- produktivna zona (jedan ili više produktivnih slojeva);
- tip proizvodnje (prirodni protok ili umjetno podizanje fluida)



Slika 7-1. Primjeri opremanja bušotina kroz jednu zonu (Project management of offshore well completions, 2007.)

Kod završnog proizvodnog opremanja bez zaštitne kolone, proizvodna zaštitna kolona ili lajner je cementiran u izlocijskoj pokrovnoj stijeni iznad ležišta te ostavlja bušotinu otvorenu kroz ležište (slika 7-1. a) i b)). Bušotina u sredini (slika 7-1. b)) ima ugrađen prorezani lajner koji sprječava utok pijeska i šljunka u proizvodni niz. U završnom proizvodnom opremanju zacijevljene bušotine (slika 7-1. c)), perforacije omogućuju selektivnu komunikaciju između ležišta i bušotine.

Tip završnog proizvodnog opremanja bušotine (koji nije uobičajen, ali se ipak primjenjuje u nekim slučajevima) u kojoj je eksploatacijska zaštitna kolona ugrađena i cementirana do krovine produktivnog sloja tako da sam sloj ostaje nezaštićen, primjenjuje se ponajprije u tvrdim (čvrstim) formacijama (pješčenicima, vapnencima, dolomitima), koje nisu sklone urušavanju ili odronjavanju, a u relativno nevezanim (nekonsolidiranim) slojevima, gdje postoji problem prodora pijeska iz sloja u bušotinu, gotovo redovito se primjenjuju pješčani zasipi. Prednost tog tipa proizvodnog opremanja je:

- (a) ušteda na troškovima za zaštitne cijevi i njihovo perforiranje;
- (b) oštećenje (zagađenje) formacije i gubitak cirkulacije u produktivnu zonu su minimalni;
- (c) odlična kontrola prodora pijeska u bušotinu u kombinaciji sa zasipom;
- (d) nema opasnosti od začepjenja perforacija (cijelokupni produktivni interval je otvoren);
- (e) olakšana interpretacija karotaže zbog otvorenog kanala bušotine (i mogućnost ponavljanja karotaže), i
- (f) kanal bušotine se može lako produbiti i proširiti.

Nedostaci su :

- (a) potreba za ugradnjom eksploatacijske kolone zaštitnih cijevi prije bušenja i karotaže produktivnog ležišta (ako ležište nije produktivno, tada je uzaludno potrošen novac na zaštitnu kolonu jer se bušotinu napušta);
- (b) nemogućnost kontrole strujanja fluida (kontrole pritjecanja fluida iz sloja u bušotinu, odnosno prekomjerne proizvodnje plina ili vode iz proslojaka produktivne zone, te profila injektiranja);
- (c) poteškoće izvođenja selektivnih obrada (stimulacija) sloja hidrauličkim frakturiranjem ili kiselinom;
- (d) opasnost od urušavanja stijene u kanal bušotine što može umanjiti protok fluida na površinu; i

(e) često čišćenje kanala bušotine.

Završno proizvodno opremanje bušotine za proizvodnju kada je u nju ugrađena i cementirana kolona zaštitnih cijevi duž cijele produktivne formacije – u tom slučaju zaštitna kolona se mora perforirati kako bi se uspostavila komunikacija bušotine s formacijom. Efikasnost opremanja u velikoj mjeri ovisi o gustoći perforacija (broju perforacijskih otvora po metru kolone), rasporedu perforacija i dubini perforacijskih kanala u sloju. Proizvodno opremanje bušotine s perforiranjem zaštitne kolone je danas najčešće primjenjivani tip opremanja. Glavne prednosti tog tipa opremanja su:

(a) bušotinu se može izraditi i napraviti karotaža do njene ukupne dubine prije ugradnje i cementacije zaštitne kolone;

(b) cementacija zaštitne kolone se može izvesti kvalitetnije od cementacije lajnera, pa je bušotinu lako kasnije preopremiti za višezonsku proizvodnju i pojedinačnu (zasebnu) proizvodnju redosljedom od najdubljeg ležišta prema najplićem;

(c) u mogućnosti izbora intervala ležišta za perforiranje (osobito kod raspucanih ležišta ako se mogu točno utvrditi intervali s pukotinama);

(d) u lakšoj kontroli dotoka plina ili vode, i

(e) u mogućnosti selektivne obrade (stimulacije) sloja.

Nedostaci su:

(a) troškovi perforiranja koji mogu biti znatni ako je produktivna zona debela;

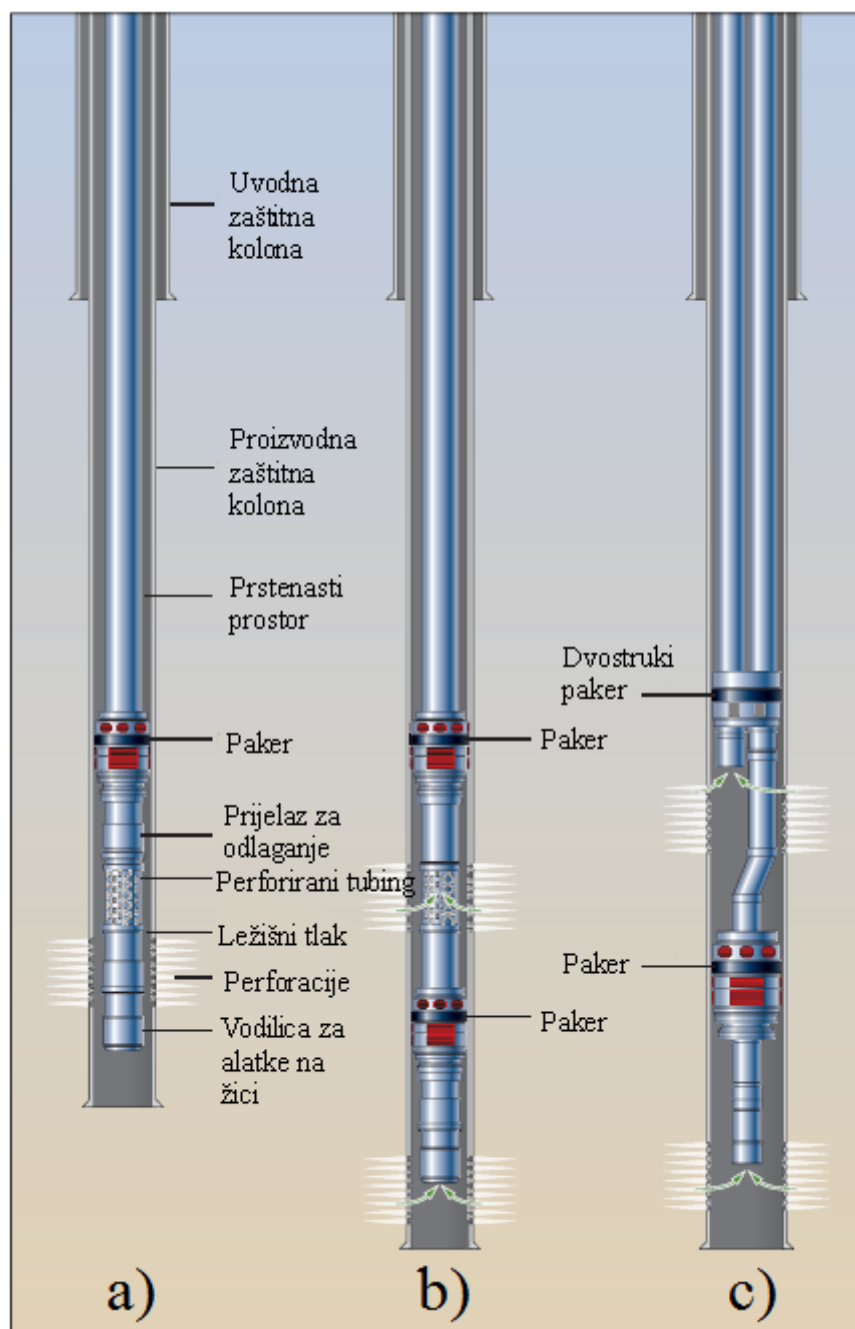
(b) zbijanje (kompakcija) formacije neposredno oko perforacija i začepljenje perforacija što može umanjiti protok, i

(c) nekvalitetna cementacija kolone zaštitnih cijevi koja eliminira svaku prednost te metode opremanja bušotine.

Kod tipičnog jednozonskog završnog proizvodnog opremanja bušotina kad se proizvodi iz jednog sloja (zone, intervala), opremanje je jednostavno, primjenjuje se samo jedna kolona uzlaznih cijevi (tubinga) i obično jedna dubinska brtvenica (paker) koja uspostavlja hidrauličku prepreku između tubinga i kolone zaštitnih cijevi ili lajnera. Dubinska hidraulička brtvenica (paker) često se smatra najvažnijim alatom u proizvodnom nizu jer mora osigurati dugoročnu hidrauličku barijeru koja je u skladu s ležišnim fluidom i radnim fluidom u prstenastom prostoru. To iziskuje manje troškove od višezonskog proizvodnog opremanja. Obično se primjenjuje na kopnenim bušotinama na kojima su produktivni slojevi plitki ili vrlo duboki.

Dodatna oprema se često ugrađuje iznad i ispod dubinske brtvenice (pakera). Sigurnosni ventil, obično se nalazi na vrhu proizvodne cijevi (tubinga) ispod isplavnog voda. To je sigurnosni protočni kontrolni uređaj koji služi zaštititi osoblja, ležišta i okoliša od ušća bušotine ili kvara opreme. Neposredno iznad pakera, nalazi se cirkulacijski (klizni) rukavac koji omogućuje protok radnog fluida između tubinga i prstenastog prostora. Održavanje radnog fluida u prstenastom prostoru je potrebno radi očuvanja ispravnog hidrostatskog tlaka na paker i sprječavanja korozije. Prijelazi za odlaganje (*engl. landing nipples*) su profilirani spremnici u koje mogu odsjedati čepovi ili ventili za kontrolu protoka fluida ili uređaji za mjerenje i praćenje proizvodnje. Prorezani tubing omogućuje ugljikovodicima ulazak u proizvodni niz (tubing). Vodicica za alatke na žici omogućuje laki dohvat alatki sa žičanim užetom natrag u uzlazni niz.

Višezonsko proizvodno opremanje bušotine služi za istovremenu odvojenu proizvodnju nafte ili plina iz dviju ili više zona (slojeva) na različitim dubinama gdje svaka zona (sloj) proizvodi kroz svoju kolonu uzlaznih cijevi, a sve zone su međusobno izolirane (razdvojene) dubinskim brtvenicama (pakerima). Ima puno mogućih kombinacija konfiguracija koje omogućuju istovremenu proizvodnju iz svih zona ili selektivne proizvodnje iz pojedinih zona. Produktivne zone u višezonskom opremanju razdvojene su zbog tri glavna razloga: državni propisi često zahtijevaju praćenje proizvodnje iz svake zone; sprječavanja unakrsnog protoka visoko i niskotlačnih zona, i; sirova nafta iz različitih zona može biti kemijski nekompatibilna te bi, ako se miješaju, moglo doći do stvaranja mulja ili taloga.



Slika 7-2. Jednozonsko i višezonsko završno proizvodno opremanje (Project menagment of offshore well completions, 2007.)

U jednozonskom opremanju (slika 7-2. – a)) paker stvara hidrauličku barijeru između prstenastog prostora iznad pakera i tubinga. Prstenasti prostor iznad pakera ispunjen je paker fluidom koji sadrži i inhibitore korozije za sprječavanje korozije zaštitnih cijevi. Ispod pakera nalaze se razni uređaji za kontrolu protoka fluida i manipuliranje alatkama na žici. Višezonsko opremanje (slika 7-2. – b)) dviju zona koristi dva pakera za njihovo razdvajanje, ali tijekom proizvodnje ležišni fluidi iz obju zona

proizvode se kroz isti tubing i u njemu se mješaju. Višezonsko opremanje s dvostrukim nizom tubinga (slika 7-2. – c)) omogućuje proizvodnju iz svake zone odvojeno kroz vlastiti tubing. Jednostruki paker služi izoliranju niže zone i omogućuje komunikaciju s površinom kroz duži niz tubinga. Dvostruki paker služi kao barijera između prstenastog prostora iznad dvostrukog pakera i više produktivne zone te njenu komunikaciju s površinom kroz kraći niz tubinga.

Bušotine koje proizvode eruptivno većinom su ekonomičnije. Međutim, u bušotinama pod uvjetima visokog tlaka i temperature mora se ugraditi specijalizirana oprema radi sigurnije proizvodnje. U mnogim slučajevima, bušotina može u početku proizvoditi vlastitom energijom tj. tlakom, a tek u kasnijoj fazi, kada se tlak smanji, dodatnom metodom podizanja fluida kao što je plinski lift. Ugradnja dodatne opreme za mehaničko podizanje nafte razmatra se u osnovnom procesu planiranja kako bi se izbjegao nepotrebn trošak i prekid proizvodnje. Umjetno podizanje nafte uključuje ugradnju plinskog lifta ili specijalizirane električne ili mehaničke uronjive pumpe.

7.1. PROJEKTIRANJE OPREMANJA

Postizanje uspješnog odobalnog opremanja zahtjeva blisko integrirani, multidisciplinarni projektno-menadžerski tim koji se sastoji od osoblja iz operativne kompanije, servisnih kompanija i proizvođača opreme. Obično je potrebno oko dvije godine da se analiziraju tehnički parametri i prepreke, odredi strategija opremanja, tehnički zahtjevi opreme, obave temeljita testiranja i konačno postavljanje opreme u bušotinu.

Odobalni dizajn i proces opremanja uključuje nekoliko faza. Prije početka sljedeće faze, svi članovi tima moraju odobriti posao koji je do tada proveden. S ekonomskog stajališta, učinkovitost ovog procesa je jednako važna kao i tehnologija.

Tijekom faze planiranja inženjeri procjenjuju razvoj uvjeta unutar kojih oprema završnog proizvodnog opremanja mora djelovati. Glavni parametri uključuju geološke podatke, tlak i temperaturu u ležištu, parametre ležišnog fluida, pretpostavljene obroke proizvodnje, svojstva protoka i radni vijek bušotine. Nakon odobrenja projekta, nabavlja se i izrađuje oprema potrebna za opremanje.

Prije dostavljanja opreme za ugradnju na bušotinu, ona mora proći kroz sustav za ispitivanje (*engl. system integration testing - SIT*) kao potvrda da će zadovoljiti dogovorene specifikacije i da se riješe možda neki nepredviđeni problemi ili nekompatibilnost s drugim sustavom. Sučelje za ispitivanje pruža i „suhu proizvodnju“ za potencijalni dizajn opremanja, dozvoljavajući inženjerima da razviju učinkovitije dijelove opremanja, ispituju nepredviđene situacije i u konačnici da smanje neproduktivno vrijeme rada. Sučelje za ispitivanje (SIT) provodi se u simuliranim uvjetima, istovjetnim onima u stvarnoj bušotini. Pošto je pouzdanost tehnologije vrlo bitna u energetskej industriji kompanija Schlumberger je 2004. godine radi toga napravila testno postrojenje u Cameronu (Texas) - CTF (*engl. Cameron Test Facility*). Tamo se može testirati nova tehnologija u stvarnim uvjetima i napraviti analiza interakcije komponenti i cjelokupnog sustava u kojem djeluju.

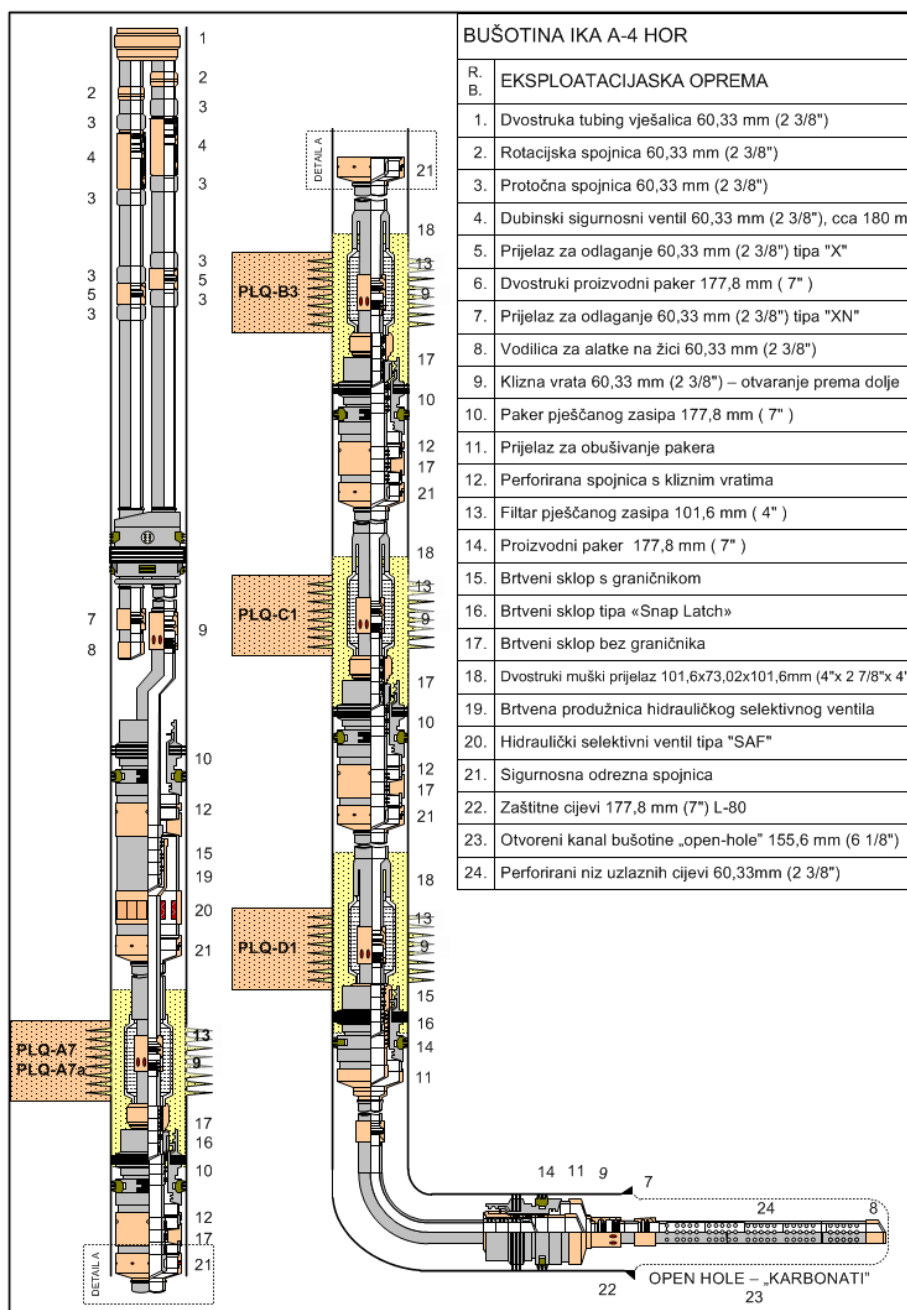
Dizajn opremanja, proizvodnja proizvodne opreme i sustav za testiranje provode se metodom FMEA (*engl. failure modes effect analysis*) – način identificiranja potencijalnih neuspjeha opreme, procesa, procjene rizika, rangiranja sustava po važnosti, te utvrđivanja i obavljanja ispravaka za rješavanje najozbiljnijih problema. U širokoj je primjeni u mnogim sektorima industrije, naročito u automobilskom i zrakoplovnom sektoru. FMEA omogućuje inženjerima sastaviti kritičan popis stavki koji sadrže scenarije neuspjeha koji bi imali katastrofalne posljedice. U kontekstu opremanja bušotine, kritičan popis stavki sadrži zahtjeve visokog prioriteta tijekom provedbe SIT testa.

Kada se napravi test i kada su sve strane zadovoljne izvedbom cjelokupnog sustava izdaje se dozvola za opremanje i oprema se može transportirati na lokaciju bušotine i započeti pripremu, instalaciju i izvedbu opremanja.

7.2. TIPIČNO OPREMANJE BUŠOTINA NA PLINSKIM POLJIMA SJEVERNOG JADRANA

Opremanje bušotina sjevernog Jadrana najčešće je izvedeno dvostrukim nizom tubinga jer se plin proizvodi iz dva ili više ležišta. Primjer takve bušotine je i Ika A-4 hor. Bušotina IKA A-4 hor je novija bušotina izbušena 2014 godine. Na osnovi hidrauličkih, termodinamičkih i mehaničkih proračuna odabran je optimalni proizvodni niz. Zbog postojanja više ležišta, odabrana je konstrukcija za većinu bušotina s dvostrukom proizvodnom opremom (*engl. DUAL COMPLETION*), a time je istovremeno određen i

promjer proizvodne kolone zaštitnih cijevi. Opremljena je dvostrukim nizom tubinga i dizajnirana da proizvodi iz ležišta PLQ-A7a, PLQ-B3, PLQ-C1, PLQ-D1 i karbonata u horizontalnom dijelu bušotine.

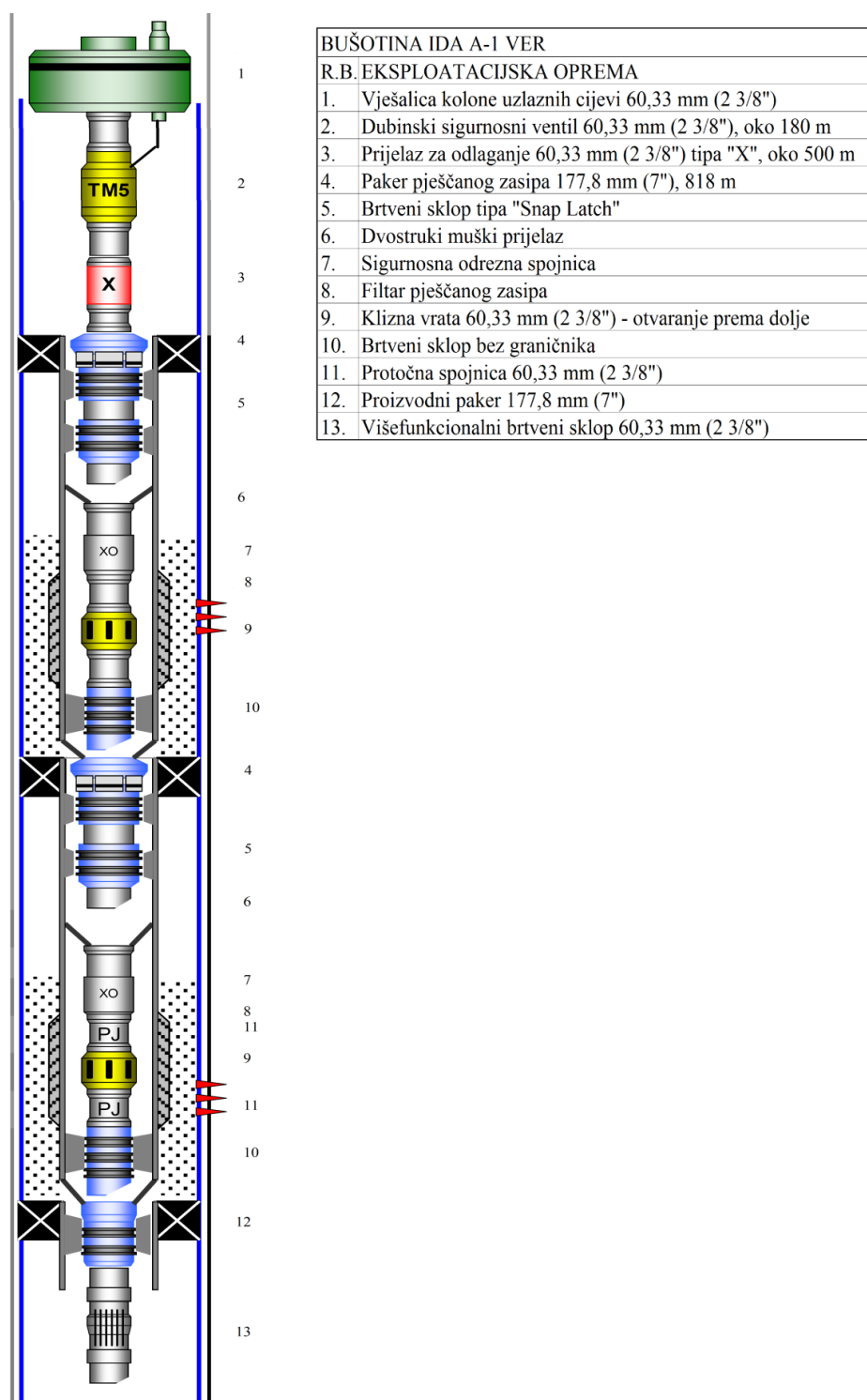


Slika 7-3. Proizvodna oprema bušotine Ika A-4 hor (Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip)

Proizvodni niz je sljedećeg sastava:

Proizvodni paker je odsjednut u proizvodnoj koloni promjera 177,8 mm (7⁴) iznad opreme za plići pješćani zasip. On treba omogućiti odvajanje i nadzor nad prstenastim prostorom. Dio niza ispod proizvodnog pakera sastoji se od opreme pješćanog zasipa koja treba spriječiti pokretanje pijeska te omogućiti proizvodnju iz svakog ležišta posebno. Klizna vrata iznad proizvodnog pakera omogućuju komunikaciju između tubinga i prstenastog prostora, kako kod plinskog podizanja, tako i kod gušenja. Površinski upravljivi dubinski sigurnosni ventil je dio kontrolno-blokadnog sustava bušotine, koji je neophodan za siguran rad bušotine. Navojni spojevi proizvodne opreme i proizvodne kolone moraju biti plinotijesni (premium navoji). Proizvodni niz bušotine Ika A-4 hor sastoji se od dva niza tubinga: kratkog niza i dugog niza. Vješalica tubinga omogućava odsjedanje dvostrukog niza proizvodne opreme u bušotinsku glavu, kao i prolaz za hidrauličke vodove dubinskih sigurnosnih ventila. Dubinski sigurnosni ventil kratkog niza i dugog niza postavljeni su na dubinu od oko 200 m od bušotinske glave. Prijelazi za odlaganje i jednog i drugog niza nalaze se iznad najplićeg proizvodnog sloja na dubini od oko 500 m. Dvostruki hidraulički paker (BH-GT) smješten je iznad najplićeg ležišta. Završetak kratkog niza sadrži odsjednu spojnicu s prijelazom za odlaganje. Nastavak dugog niza sadrži pakere te klizna vrata za komunikaciju prstenastog prostora i tubinga postavljena između pakera. Prijelaz za orijentiranje mjernog instrumenta nalazi se iznad završetka dugog niza a odsjedna spojnica s prijelazom za odlaganje liježe na ugrađenom čepu.

Manji broj bušotina u eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran opremljen je jednim nizom tubinga (engl. single completion). Primjer takvog opremanja može se prikazati na primjeru bušotine Ida A-1 ver.



Slika 7-4. Proizvodna oprema bušotine Ida A-1 ver (Platform IDA-A drilling & completion final report)

8. ZAKLJUČAK

Suvremeno gospodarstvo ovisno je o energiji a najveći dio potreba za energijom još uvijek se zadovoljava korištenjem ugljikovodika. Širenjem istraživanja i proizvodnje nafte i plina na područje akvatorija razvija se tehnologija i povećava sposobnost rada u dubljim vodama u kojima se izvođe operacije istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Područje Jadrana danas je jedno od glavnih istraživačkih prostora u Republici Hrvatskoj. Posljednjih nekoliko godina proizvodnja plina iz hrvatskog odobalnog područja premašila je proizvodnju iz svih kopnenih plinskih i plinsko-kondenzatnih ležišta.

Na eksploatacijskim poljima Sjeverni Jadran i Izabela postavljeno je ukupno sedamnaest proizvodnih platformi s kojih je izgrađeno ukupno 47 proizvodnih bušotina. Pošto su ležišta plina relativno plitko, na dubinama između 600 i 1400 m, vertikalna dubina bušotina relativno je plitka što omogućuje postavljanje jednostavne, tipične konstrukcije bušotina. Tako se tipični niz zaštitnih cijevi sastoji od konduktor kolone (20“) nabijene do oko 120 do 130 m dubine, odnosno 50 – 60 m dubine od morskog dna, uvodne kolone (13 ³/₈“) koja prekriva nekonsolidirane formacije morskog dna, tehničke kolone (9 ⁵/₈“) kojom su prekrivene nekonsolidirane formacije do najbližeg ležišta, te proizvodne kolone (7“) koja u najpovoljnijem dijelu prodire u ležišta. Trajektorija bušotina u eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran najčešće je koso usmjerena a mjerena duljina horizontalnih bušotina može doseći i više od 2000 m.

Tipično opremanje proizvodnog niza bušotina na eksploatacijskom polju Sjeverni Jadran može se opisati kao višezonsko s dvostrukim nizom tubinga promjera 60,3 mm (2 ³/₈“) i s promjerom proizvodnog niza zaštitnih cijevi od 177,8 mm (7“) . Perforacija su izrađene pomoću opreme na žici ili primjenom perforatora ugrađenih na tubingu (*engl. tubing conveyed perforators, TCP*). Za opremanje perforiranog dijela ležišta sa zaslonom i pješčanim zasipom najčešće se upotrebljava Frack & Pack i HRWP metoda, a opremanje otvorenog dijela ležišta metodom OHGP. Proizvođač podzemne proizvodne opreme i opreme kontrole dotoka pijeska za bušotine u sjevernom Jadranu najčešće je tvrtka Baker Oil Tools.

Da bi se bušotinu kvalitetno izradilo i opremilo potreban je iskusan tim stručnjaka koji su iskustvo stekli na sličnim projektima. Udruživanjem snaga tvrtke INA i talijanske kompanije ENI s dugogodišnjom praksom izrade bušotina u Jadranu, stečeno je to prijeko potrebno iskustvo.

9. LITERATURA

1. *Glavni rudarski projekt plinskog polja Ivana*. Zagreb: INA d.d., 1997. godina.
2. *Glavni rudarski projekt (GRP) eksploatacije prirodnog plina na eksploatacijskom polju Izabela, plinsko polje Izabela*, 2008. Zagreb: INA d.d. Istraživanje i proizvodnja nafte i plina, 2008. godina
3. *Project management of offshore well completions*. Schlumberger oilfield review, 2007 godina
4. *Predavanja iz kolegija: „Tehnika izrade bušotina“*, šk. god. 2012./13.

Tehnička dokumentacija tvrtke INAgip d.o.o. :

5. *Drilling & completion final report - IDA B*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2006.
6. *Drilling & completion final report - IVANA E, IVANA D, IVANA B - main document*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2001. godina
7. *Drilling & completion final report - IVANA E, IVANA D, IVANA B - technical data*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2001. godina
8. *IKA-A drilling and completion final report wells Ika a-1 dir, Ika a-2 hor, Ika a-3 hor*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2005. godina
9. *Ika-A4 hor Final Report*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2014. godina
10. *Platform IDA A drilling & completion final report*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2006. godina
11. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Irina-1 dir*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2008. godina
12. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradne bušotine Vesna - 2 ver*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2008. godina
13. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi Ana-2 dir i Ana-3 dir*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2008. godina
14. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi ANNAMARIA*. . Zagreb: Inagip d.o.o., 2009. godina
15. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IDA C*. Zagreb: Inagip d.o.o., 2005. godina
16. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IKA A*. Inagip d.o.o., 2005. godina
17. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IKA B*. Inagip d.o.o., 2006. godina
18. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina na proizvodnoj platformi IVANA C*. Inagip d.o.o., 2006. godina
19. *Završni izvještaj o bušenju i opremanju razradnih bušotina polja IKA JZ*. Inagip d.o.o., 2014. godina